

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO ENGENHARIA TÊXTIL**

Hannah Caroline Reiter

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA, QUALIDADE E CUSTO EM TINGIMENTO DE
POLIÉSTER PRETO COM BANHO REDUTIVO**

Blumenau

2019

Hannah Caroline Reiter

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA, QUALIDADE E CUSTO EM TINGIMENTO DE
POLIÉSTER PRETO COM BANHO REDUTIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na disciplina de TCC como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheira Têxtil.

Orientador: Profa. Dra. Catia Rosana Lange de Aguiar

Blumenau

2019

Ficha de identificação da obra

Reiter, Hannah Caroline

Estudo de eficiência, qualidade e custo em tingimento de poliéster preto com banho reductivo. / Hannah Caroline Reiter; orientadora, Catia Rosana Lange de Aguiar, 2019.

68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2019.

Inclui referências.

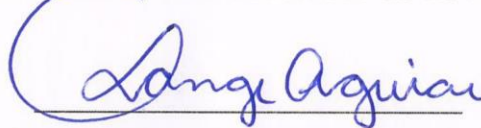
1. Engenharia Têxtil. 2. Tingimento. 3. Poliéster. 4. Lavagem reductiva. 5. Corantes dispersos. I. de Aguiar, Catia Rosana Lange. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

Hannah Caroline Reiter

**Estudo de eficiência, qualidade e custo em tingimento de poliéster preto com
banho reductivo**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil.

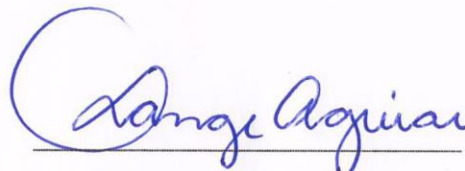
Blumenau, 6 de dezembro de 2019.



Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.

Coordenadora do Curso

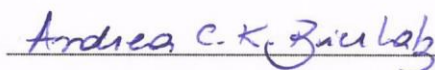
Banca Examinadora:



Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.

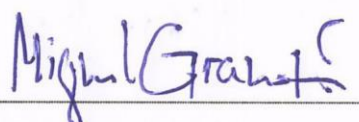
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof^a. Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Dr^a.

UFSC - DET



Prof. Miguel Angelo Granato, Dr.

UFSC - DET

Este trabalho é dedicado à minha família e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos em minha vida.

Aos meus pais, por não medirem esforços para que eu chegasse até esta etapa. Pelo apoio incansável durante toda a minha trajetória, por todo carinho, cuidado, amizade e parceria sempre depositados a mim e a minha irmã.

À minha irmã, por toda motivação e companheirismo principalmente nos momentos difíceis.

Ao meu namorado por todo apoio e companheirismo.

À minha orientadora, Cátia Rosana Lange de Aguiar pela atenção, conhecimento, disponibilidade, cuidado e paciência durante o semestre.

Aos professores do curso de Engenharia têxtil, por toda a dedicação depositada ao Campus e a nós alunos.

A UFSC (Campus Blumenau), LAFITE (Senai Brusque), pela contribuição na realização de experimentos e análises para o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos que a universidade me trouxe: Laura Palermo, Caroline Schreiber, Daniele Kuhn, Larissa Theodoro, Joana Feltrin, Gabriela Lavrati, Caroline Hubitzreuter, Jean Fantoni, Amanda Schuch por toda ajuda durante esta caminhada.

Em especial meu agradecimento ao meu amigo do coração: Renan Felinto pelas tantas vezes que me ajudou e escutou com tanto carinho.

*“A persistência é o caminho do êxito.”
Charles Chaplin*

RESUMO

Os processos de beneficiamento têxtil empregam uma grande quantidade de corantes para a obtenção de cores intensas, onde os substratos devem ser muito bem lavados ao final do processo para que os produtos apresentem solidez adequada. Uma alternativa ao grande número de lavações é o processo de redução destes corantes residuais, onde estudos buscam alternativas para melhoria destes processos redutivos. Os processos de tingimento e acabamento de substratos têxteis estão diretamente associados ao elevado consumo de químicos e água para sua produção. Atualmente, com um mercado cada vez mais competitivo, mas ao mesmo tempo clamando para a proteção do meio ambiente cada vez mais escasso de recursos naturais, a indústria têxtil assumiu um papel importante tomando iniciativas e buscando alternativas em otimizar os gastos, sem perder a capacidade produtiva, e os danos causados ao meio ambiente. Este trabalho teve como objetivo avaliar a redução de corante preto disperso, com o emprego de cinco agentes redutores em diferentes concentrações, ao final do processo de tingimento de fios de poliéster. Também foi avaliada a solidez a luz, lavagem e fricção dos substratos tingidos. Um levantamento de custo, periculosidade e impactos ambientais foi realizado com o objetivo de identificar qual redutor promove maior eficiência no processo redutivo. Observou-se que o redutor com base química ácido hipofosforoso modificado, foi o redutor que apresentou menor custo de processo redutivo. Para as análises de qualidade o redutor que apresentou melhor solidez nos ensaios de solidez à lavagem, fricção e à luz foi o redutor hidrossulfito de sódio. O redutor com base química de ácido de sal sódico foi o redutor que apresentou menor impacto ambiental, e menor grau de periculosidade. Verificou-se que a melhor alternativa para um processo industrial seria o redutor com base química ácido de sal sódico.

Palavras-chave: Corantes dispersos. Lavagem redutiva. Poliéster.

ABSTRACT

The textile processes employs a large amount of dyes for the intense colors, which should be thoroughly washed at the end of the process for the products presented with adequate solidity. An alternative to the large number of washes is the process of reducing these residual dyes, where studies seek alternatives to improve these reductive processes. The dyeing and finishing processes of textile substrates are directly associated to the high consumption of chemicals and water for their production. Today, with an increasingly competitive market, but at the same time clamoring for protection of the environment, increasingly scarce natural resources, a textile sector plays an important role in consuming initiatives and seeking alternatives in optimizing spending without losing productive capacity, and damage to the environment. This work aimed to evaluate the reduction of the black dispersion level, using five reducing agents in different filters, and at the end of the polyester yarn dyeing process. Light fastness, washing and friction of dyed substrates were also evaluated. A survey of cost, hazardousness and environmental impacts was conducted with the objective of identifying which reducer promotes greater efficiency in the reductive process. It was observed that the reducer based on chemical acid was modified it was the reducer that presented the lowest cost of the reductive process. For the quality or reducer analyzes, which show better solidity in the wash, friction and light fastness tests were sodium hydrosulfite reducer. The chemical based reducer of saline acid was the reducer with the lowest environmental impact and the lowest degree of hazard. It was found that the best alternative for an industrial or reducing process based on sodium salic acid.

Keywords: Disperse dyes. Polyester. Reductive wash.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação de fibras têxteis.	21
Figura 2 – Síntese do poliéster.....	24
Figura 3 – Tipos de poliéster.....	25
Figura 4 – Processo convencional de tingimento por esgotamento do poliéster.....	28
Figura 5 – Proposta de limpeza redutiva.....	30
Figura 6 – Tingimento de poliéster preto com banho redutivo.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades do PET.	26
Quadro 2 – Testes de solidez.....	31
Quadro 3 – Materiais empregados no estudo.	34
Quadro 4 – Procedimento de tingimento padrão.....	35
Quadro 5 – Processo redutivo no tingimento de fios de poliéster.	38
Quadro 6 – Formulação banho redutivo das amostras analisadas.	42
Quadro 7- Periculosidade e impactos ambientais dos agentes redutores.....	58
Quadro 8- Classificação quanto ao menor custo do processo redutivo, melhor qualidade de processo, menor impacto ambiental e menor grau de periculosidade.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo global de fibras.	28
Gráfico 2 – Curva de calibração do corante Preto CC-R.....	45
Gráfico 3 – Tingimento poliéster preto com redutor 1.	46
Gráfico 4 – Tingimento poliéster preto com redutor 2.	47
Gráfico 5 – Tingimento poliéster preto com redutor 3.	49
Gráfico 6 – Tingimento poliéster preto com redutor 4.	50
Gráfico 7 – Tingimento poliéster preto com redutor 5.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Controle de pH dos banhos redutivos de tingimento.....	37
Tabela 2 – Coordenadas das amostras avaliadas.	43
Tabela 3 – Concentração conhecida e absorvância do corante Preto CC-R.	44
Tabela 4 – Análise dos resultados de solidez a transferência através da avaliação da solidez a lavagem pela escala de cinza.	53
Tabela 5 – Resultado das análises de fricção a seco e a úmido do processo redutivo do tingimento de fios de poliéster na cor Preto.	54
Tabela 6 – Resultado das análises de solidez à luz do processo redutivo do tingimento de fios de poliéster na cor Preto.	55
Tabela 7 – Preço (em reais) por quilo dos agentes redutores.....	55
Tabela 8 – Custo do processo redutivo de uma partida de 100 kg de tingimento, total e unitário.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANVISA - Associação Nacional de Vigilância Sanitária

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Objetivo Geral	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	INDÚSTRIA TÊXTIL	20
2.2	FIBRAS TÊXTEIS.....	21
2.2.1	Fibras naturais	21
2.2.2	Fibras manufaturadas	22
2.2.2.1	Artificiais	22
2.2.2.2	Sintéticas	22
2.3	POLIÉSTER	23
2.3.1	Estrutura e propriedades do poliéster	25
2.4	BENEFICIAMENTO DE POLIÉSTER.....	26
2.4.1	Preparação e Tingimento de Poliéster	26
2.4.2	Lavagem redutiva do tingimento de poliéster	29
2.5	SOLIDEZ DA COR	30
2.6	ECONOMIA DE ÁGUA E REDUÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	MATERIAIS	34
3.2	Métodos.....	35
3.1.1	Processo de tingimento	35
3.2.2	PROCESSO DE REDUÇÃO DO CORANTE RESIDUAL.....	36
3.2.3	AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DA COR	38
3.2.4	CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE CORANTE NO BANHO DE TINGIMENTO	39

3.2.6 AVALIAÇÃO DA SOLIDEZ DA COR À LAVAGEM DOMÉSTICA	40
3.2.7 AVALIAÇÃO DA SOLIDEZ DA COR À FRICÇÃO A SECO E A ÚMIDO	41
3.2.8 AVALIAÇÃO DA SOLIDEZ DA COR À LUZ	41
3.2.9 LEVANTAMENTO DE DADOS DE CUSTO, PERICULOSIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS DOS REDUTORES EMPREGADOS	42
4 RESULTADOS	43
4.1 AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DA COR	43
4.2 CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE CORANTE NO BANHO DE TINGIMENTO	44
4.3 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE CORANTE APÓS OS PROCESSOS DE TINGIMENTO E REDUÇÃO DE CORANTE.....	45
4.4 AVALIAÇÃO DA SOLIDEZ DA COR À LAVAGEM	52
4.5 AVALIAÇÃO DE SOLIDEZ DA COR À FRICÇÃO A SECO E A ÚMIDO	53
4.7 LEVANTAMENTO DE DADOS DE CUSTO, PERICULOSIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS DOS REDUTORES EMPREGADOS	55
5 CONCLUSÃO.....	62
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

O processo de tingimento têxtil é uma etapa importante da produção de artigos deste setor. Definido como uma transformação físico-química sobre a superfície do material, o processo provoca a percepção de cor por meio da luz refletida, a partir da coloração empregando insumos conhecidos como corantes (SALEM, 2010). O enobrecimento pode ser realizado de diversas formas, a partir do fato de que existem variados tipos de fibras, além de variadas combinações de insumos e características, que resultarão em versatilidade nos processos de tingimento.

Durante toda a fabricação de têxteis, a utilização de químicos é destacada por ser matéria-prima importante na produção, desde as etapas iniciais, seja no emprego de fertilizantes no plantio de algodão (ZHANG et al., 2018) ou aplicação de óleos na manufatura de fibras sintéticas (FALCO et al., 2018), como também, o grande volume de corantes no beneficiamento, etapa final. Desta forma, estima-se que 98 milhões de toneladas de recursos não renováveis e 93 milhões de metros cúbicos de água são empregados anualmente na produção de vestuário (MORLET et al., 2017; TO, et al., 2019). Conseqüentemente, atribuindo-se ao setor têxtil o título de um dos maiores poluidores industriais no mundo (NORUP et al., 2018). Como levantado, é intrínseco para o desenvolvimento da indústria a otimização de processos fabris alinhados às responsabilidades, progredindo de forma sinérgica para ambos os interesses, produtivos e ambientais.

Como uma das etapas do beneficiamento, pode-se destacar o método de lavagem redutiva de corantes dispersos como forma de melhora de solidez do tingimento de fibras de poliéster, visto que, os objetivos caracterizam-se por remover o residual de corante não fixado a fibra. Conforme Aleem (2013), a quantidade de corante hidrolisado depositado sobre a superfície do substrato, pode ser agravado e com maior dificuldade de remoção quando se emprega corante disperso no tingimento de fibras poliéster. Este tipo de fibra é caracterizado pela presença de oligômeros formados durante a polimerização do insumo, que após o tingimento depositam-se na superfície da fibra, por meio da diferença de temperatura durante e

após o processo, impedindo a coloração destes locais (ALEEM, 2013). Neste sentido, a lavagem redutiva torna-se fator crucial na eficiência do processo.

Entende-se que quando o tingimento não é efetuado de forma adequada, a quantidade de lavagens aumenta visando melhorar as características finais do material. O resultado é a utilização de maior volume de água, assim como, aumento na quantidade de químicos e energia para a realização do processo. Quando se considera o desenvolvimento de tecnologias limpas para a produção têxtil, todo estudo que tem como objetivo a melhoria das etapas fabris é relevante. Desta forma, o presente trabalho tem como foco a investigação do processo de lavagem redutiva no tingimento de poliéster, visando a redução de custos, de impactos ambientais, de consumo de água e energia durante o beneficiamento, bem como assegurar a qualidade do substrato final.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a eficiência, custo, qualidade, periculosidade e impactos ambientais do processo de tingimento de fibras de poliéster com corante preto disperso e lavagem redutiva com diferentes redutores.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o tingimento das fibras de poliéster com corante preto disperso e aplicação de lavagem redutiva com diferentes agentes redutores em diferentes concentrações.
- Avaliar a eficiência de redução do corante por meio de análise da quantidade de corante residual após a lavagem redutiva e das lavações de cada processo aplicado.
- Avaliar a qualidade de cada processo por meio da avaliação de cor e de solidez à lavagem, fricção e luz.
- Calcular o custo da lavagem redutiva para cada agente redutor aplicado.
- Determinar a periculosidade e impactos ambientais dos agentes redutores aplicados.
- Comparar e analisar os resultados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

O setor têxtil brasileiro é considerado um dos grandes participantes na movimentação econômica do país. Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2018), o faturamento chegou a US\$ 51,58 bilhões, com 1,5 milhão de empregos diretos e 8 milhões de indiretos, indicando 5,7% de participação no faturamento da indústria de transformação e 16,7% da empregabilidade do país, contando com cerca de 27,5 mil empresas formais em todo o território. Os mesmos dados afirmam que o Brasil possui a maior cadeia têxtil completa do ocidente, além de ser o quarto maior produtor de malhas do mundo.

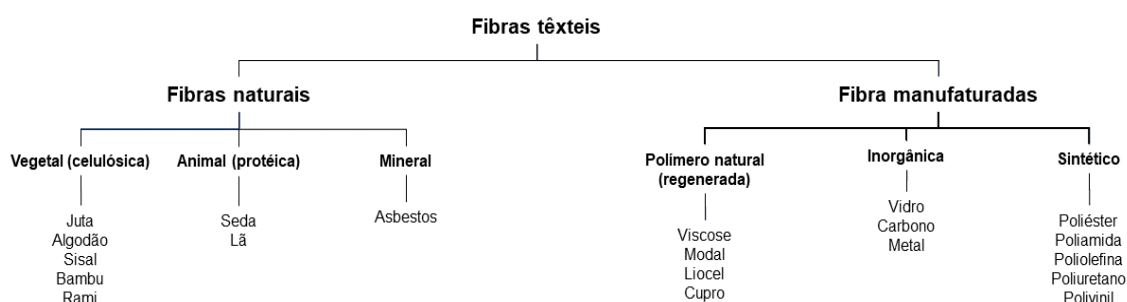
As regiões que mais se destacam na produção de artigos têxteis são Sudeste e Sul, no qual correspondem a 83% da produtividade industrial nacional (REVELLO, 2002) e principalmente, o Estado de Santa Catarina (SANTOS *et al.*, 2015; LINS 2000).

A cadeia têxtil pode ser dividida em cinco processos básicos: fiação, tecelagem, malharia, acabamento e confecção, conforme Gorini e Siqueira (2002). Nestas, além do emprego de insumos particulares a manufatura têxtil (fibras, corantes, dispersantes etc.), tem-se a larga utilização de recursos hídricos para que a produção seja realizada. Segundo Lu *et al.* (2010), durante o processo de tingimento e acabamento, 150 m³ de água são utilizados para cada tonelada de vestuário produzido. Este aspecto também é citado por Vajnhandl e Vahl (2014), onde para cada quilograma de tecido tingido, mais de 100 L de água são empregados, resultando em um montante exagerado de efluente, com alta variabilidade de químicos que devem ser tratados antes do descarte ao meio ambiente. Considerando estes dados, o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis no processo têxtil é importante para a melhoria dos processos, como também, assegurar formas limpas de produção, demanda intrínseca ao desenvolvimento sustentável das organizações.

2.2 FIBRAS TÊXTEIS

A fibra têxtil é todo material que pode ser utilizado para fins têxteis como fios, tecidos, não tecidos, têxteis técnicos, dentre outros. Conforme citado por Landi (1998), as fibras são definidas como uma unidade de comprimento com pelo menos, cem vezes o seu diâmetro, com estrutura molecular de cadeia longa. Deste modo, podem ser classificadas em dois grandes grupos: fibras naturais e fibras manufaturadas (SINCLAIR, 2015). Podem ainda ser subdivididas em vegetal, animal e mineral, ou polímero regenerado, inorgânica e sintéticas, respectivamente, conforme a Figura 1. Deste modo, as fibras naturais são fibras oriundas diretamente da natureza, enquanto que as manufaturadas são produzidas artificialmente pelo homem.

Figura 1 – Classificação de fibras têxteis.



Fonte: Adaptado de Mather e Wardman (2011).

As fibras têxteis são empregadas em uma vasta gama de aplicações e a partir das diversas utilidades, requerem uma vasta variação de propriedades (MATHER e WARDMAN, 2011). Neste sentido, o desempenho de estruturas têxteis irá depender diretamente da fibra aplicada, tendo em vista, a variedade de características físicas, mecânicas e químicas dos insumos.

2.2.1 Fibras naturais

As fibras naturais são classificadas como tal, tendo em vista, a origem das mesmas, obtidas a partir da manipulação de matéria-prima natural como: vegetais em suas diferentes partes (sementes, caule e folha) que permitem a produção de

fibras celulósicas, representadas por algodão, rami, kapok, juta, dentre outros exemplos (YU, 2015); proteicas, formadas em animais por meio da condensação de α -aminoácidos para produzir unidades repetidas de polímeros com α -carbono diferentes ligadas na cadeia (BABU, 2015), como lã e seda; minerais e amianto, que atualmente são pouco aplicadas ao setor têxtil, visto suas características cancerígenas (SINCLAIR, 2015).

2.2.2 Fibras manufaturadas

Fibras manufaturadas são aquelas que passaram por algum tipo de transformação físico-química para serem utilizadas. A seguir serão abordadas algumas delas.

2.2.2.1 Artificiais

Oriundas a partir da transformação de polímeros naturais, essa classe de fibras têxteis tem vasto potencial de empregabilidade entre os insumos manufaturados (CIECHANSKA, WESOLOWSKA E WAWRO, 2009). O principal objetivo da produção de fibras artificiais ou regeneradas como comumente conhecidas, foi desenvolver material com características de finura e toque próximas aos insumos de origem natural (MATHER E WARDMAN, 2015).

Deste modo, com o passar dos anos os estudos gerados visaram à obtenção de fibras como viscose, liocel e os diferentes raions, com propriedades superiores. É relevante comentar que as fibras artificiais são manufaturadas a partir da regeneração de celulose contida em fibras de madeira e vegetais, como materiais precursores (CHEN, 2015).

2.2.2.2 Sintéticas

As fibras sintéticas surgiram em 1920 com a síntese de polímeros, onde as fibras viriam a ser uma alternativa para o comércio de têxteis (HEARLE, 2009), tendo como grande revolução tecnológica a sintetização do polihexametileno adipamina,

comercialmente conhecido como nylon 66 (VISWANATHAN, 2010; HEARLER, 2009).

Segundo Deopura e Padaki (2015), as fibras sintéticas têm grande importância para o setor têxtil, tendo em vista as vantagens que esse tipo de material pode ter. Dentre as vantagens, pode-se citar a estabilidade e durabilidade, resistência à grande quantidade de químicos, insetos, fungos e degradação, baixo grau de absorção de umidade, baixa tendência ao amarrotamento e encolhimento após a lavagem. Deste modo, entende-se que a vasta aplicação das fibras sintéticas é dada pela contribuição de suas propriedades.

Quando se avalia os dados do mercado de têxteis, cita-se que atualmente, a utilização de fibras sintéticas apresenta maior tendência de uso pela questão de custos e menor necessidade de espaço para sua produção. Entretanto, a indústria têxtil brasileira sofre com a competição em relação aos produtores asiáticos buscando assim, investimentos em produtos de maior valor agregado. Para o ano de 2010, a estimativa para a produção mundial de fibras era de 70,5 milhões de toneladas, sendo 57% deste montante referente à manufatura de fibras sintéticas (ENGELHARD, 2010). Segundo os autores Deopura e Padaki (2015), as fibras sintéticas poliamida, poliolefina, acrílico e poliéster, caracterizam 98% da produção e comercialização dessa categoria de insumos. Além disso, os mesmos autores citam que fibras de poliéster representam 60% (aproximadamente 24 milhões de toneladas) da produção e consumo global sendo desta forma, a fibra sintética mais amplamente empregada na indústria.

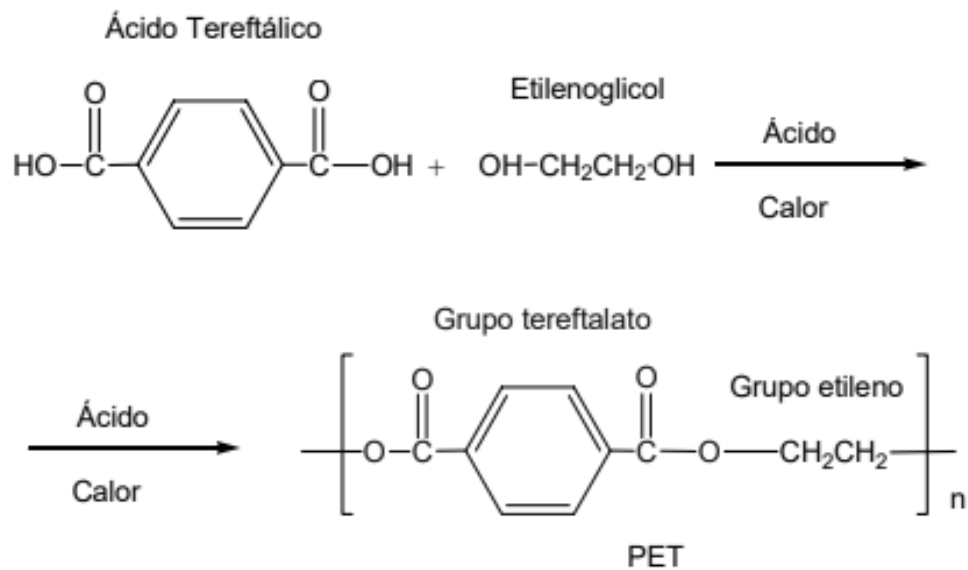
2.3 POLIÉSTER

De acordo com Guillén (1991), o poliéster foi sintetizado pela primeira vez por J. R. Whinfield e J. T. Dickson no Reino Unido em 1940 (COOK, 1984), enquanto sua produção em escala comercial iniciou em 1954. O poliéster (PES) é uma categoria de polímeros que contêm o grupo funcional éster na cadeia principal, conforme visualizado na Figura 2. A condensação do ácido tereftálico e o etilenoglicol, tem como produto resultante o polietileno tereftalato (VASCONCELOS, 2005). A partir disso, o polímero formado é extrudado por fusão a uma temperatura

variando de 280 - 290° C, com posterior estiramento do filamento obtido para orientar as macromoléculas no sentido do eixo da fibra (MATHER e WARDMAN, 2015; VASCONCELOS, 2005).

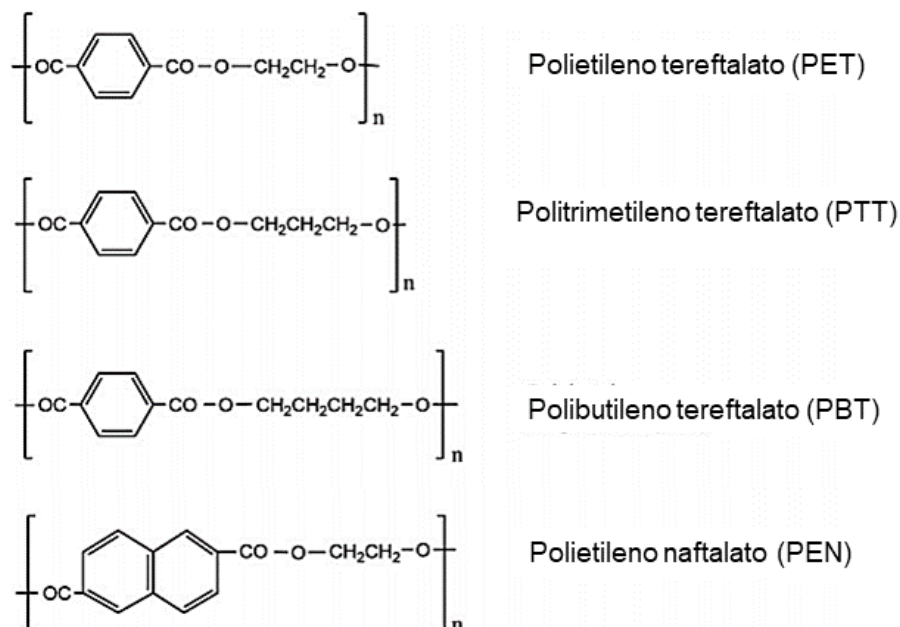
Este polímero pode ser fiado por processo usando granulado PET em extrusora ou ainda ser fundido e transferido diretamente da etapa de policondensação para uma unidade de fiação. Em ambos os processos o poliéster é fundido e alimentado para as fieiras através de bombas de fiação (PITA, 1996). Conforme a Figura 3, nota-se que existem outras variações de poliéster, os quais são caracterizados conforme suas substâncias precursoras. Entretanto, os mesmos são menos empregados na indústria quando comparados com o PET.

Figura 2 – Síntese do poliéster.



Fonte: Vasconcelos (2005) e Guillen (1991).

Figura 3 – Tipos de poliéster.



Fonte: Adaptado de Mather e Wardman (2015).

2.3.1 Estrutura e propriedades do poliéster

As cadeias do poliéster apresentam alta compactação e o grau de cristalinidade atribuído é decorrente do processo de estiramento. É comum considerar as fibras de poliéster com 55% de cristalinidade, com temperatura de transição vítrea de 70° C e ponto de fusão entre 255 – 270° C, conforme citado por Deopura e Padaki (2014). Os mesmos autores quantificam a tenacidade das fibras de poliéster em 0.4 – 0.5 N/tex e 15 – 25% de alongamento à ruptura.

Vasconcelos (2005), afirma que as características do material são definidas de acordo com o estiramento e a temperatura de estabilização, que irão influenciar diretamente na orientação e cristalinidade da fibra. Deste modo, existem inúmeras possibilidades em níveis distintos para as propriedades do poliéster, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Propriedades do PET.

Densidade	1,38 g/cm ³
Tenacidade	35 – 56 cN/tex ou >100 cN/tex para fios de alta tenacidade
Alongamento à ruptura	15 – 40%; 5 – 10% para fio de alta tenacidade
Elasticidade	Inferior a fibras de poliamida
Temperatura de fusão	260° C
Resiliência	Alta
Resistência à abrasão	Alta
Regain	0.4%
Lavagem	Grande possibilidade de lavações, por conta da alta resistência das fibras (força e abrasão)

Fonte: Adaptado de Mather e Wardman (2015).

2.4 BENEFICIAMENTO DE POLIÉSTER

2.4.1 Preparação e Tingimento de Poliéster

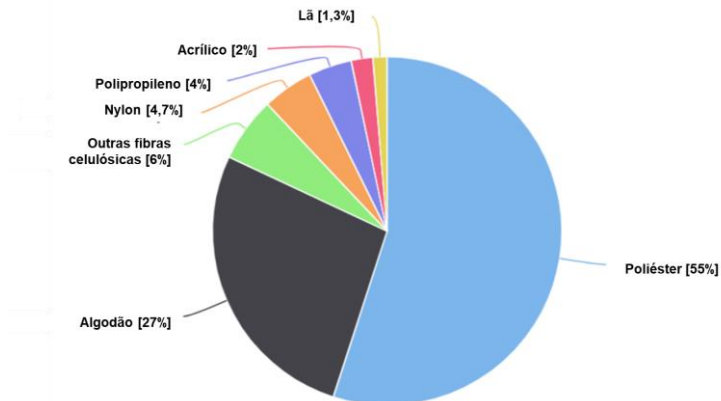
O processo de preparação do poliéster é realizado nas fibras sintéticas com o objetivo da retirada de óleos de encimagem e ceras oriundas do processo manufatureiro. Atuando diretamente na limpeza do substrato têxtil, os tensoativos emulsionam e dispersam óleos e sujeiras. O processo de limpeza é dividido em três etapas, primeiramente a impureza é separada da fibra, na segunda parte ocorre a dispersão da impureza e, por fim, a estabilização da impureza dispersada (CEGARRA, 1966).

O tingimento de fibras têxteis depende da transferência de massa de um ou mais corantes do banho para a fibra, conforme Revello (2002). Deste modo, para que o processo seja adequado, é necessário considerar quatro compostos: fibras, água, corantes e auxiliares. A interação da mesma influência no resultado, definidos assim, como componentes de um sistema de tingimento (PERKINS, 1995).

O tingimento para fibras de poliéster é feito por meio de corantes dispersos, os quais são não iônicos e praticamente insolúveis em água fria (REVELLO, 2002). Apesar da baixa solubilidade em água fria, o efeito resultante é essencial durante o tingimento, visto que o corante é dissolvido aos poucos na fase aquosa (CHOUDHURY, 2011; REVELLO, 2002). A solubilidade do corante aumenta com o aumento da temperatura. Com o aquecimento, a energia térmica aumenta a atividade das moléculas dissolvidas e estas, entram no campo de adsorção da fibra e começam a ser adsorvidas. Em seguida, em temperaturas mais altas, o corante migra para o interior da fibra. À medida que o corante é difundido, mais corante é adsorvido e mais partículas se dissolvem. Esse processo cinético depende do corante e de sua quantidade (SALEM, 2010).

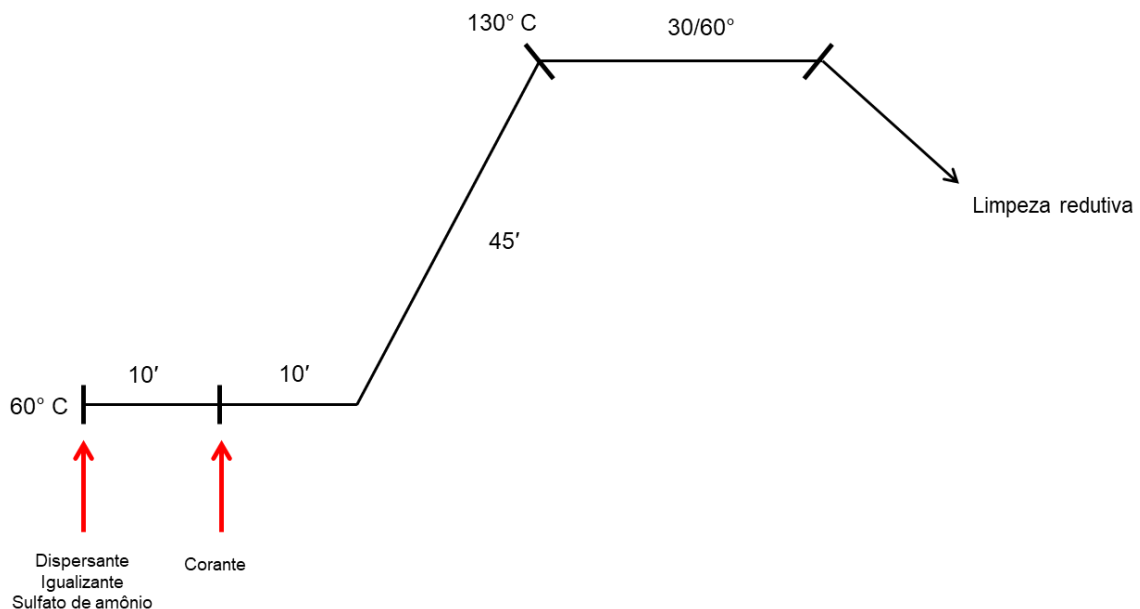
Os corantes dispersos são caracterizados por tamanho de partícula muito fina, menores que 1 μm . Isso resulta em uma grande área superficial, auxiliando sua dissolução e conseqüentemente, permitindo que a fibra absorva melhor o químico durante o processo de tingimento (GULRAJANI, 2011). Além disso, os corantes dispersos são caracterizados por possuírem moléculas com grupos azo ou antraquinona e por não conterem qualquer tipo de carga. Os corantes dispersos monoazo caracterizam-se por possuírem estruturas muito simples, de tamanho molecular reduzido, que difundem facilmente na fibra. Os corantes dispersos diazo possuem dois grupos azo na sua estrutura o que permite maior deslocalização eletrônica ao longo da cadeia, permitindo uma alta gama de cores (ALONSO, 2008). Com o grupo de corantes dispersos antraquinona obtêm-se cores da gama violeta e azul (Abrahart, 1977).

A classe de corantes dispersos ocupa o segundo lugar em aplicação durante o tingimento de fibras têxteis, conforme citado por Gulrajani (2011). Esse dado é relevante, tendo em vista que a comercialização de fibras sintéticas em 2013 foi de 57,5 milhões de toneladas, com 75% deste valor representado por fibras de poliéster (MATHER E WARDMAN, 2015), justificando a grande produção e consumo de corantes dispersos. O fato é ressaltado por dados da Plastics Insight (2016), que atribuí ao poliéster 55% do consumo de fibras mundialmente, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Consumo global de fibras.

Fonte: Adaptado de Plastics Insight (2016).

Conforme citado por Choudhury (2011), o mecanismo de tingimento de poliéster por esgotamento pode ser dividido em três fases: adsorção, difusão e redução. Para assegurar a eficiência do tingimento, deve-se controlar a taxa de aquecimento do banho, a qual precisa ser lenta até atingir 130° C, garantindo a montagem correta do corante sobre a fibra (SALEM, 2010). As fases de temperatura e adição de componentes do processo pode ser visualizado conforme a Figura 4.

Figura 4 – Processo convencional de tingimento por esgotamento do poliéster.

Fonte: Adaptado de Salem (2010).

2.4.2 Lavagem redutiva do tingimento de poliéster

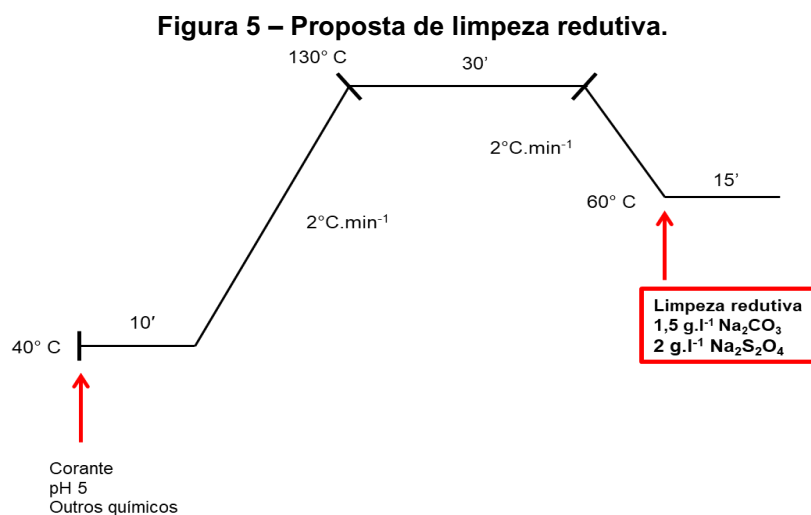
Após a fixação do corante sobre a fibra, é necessário realizar o processo de lavagem redutiva para a retirada do excesso de corante não fixado no banho. Normalmente utiliza-se hidrossulfito de sódio, em conjunto com um agente dispersante, em meio alcalino a 80° C para a lavagem (CHAVAN, 2011). O autor cita ainda que em seguida descarta-se o banho e, pelo menos dois ou três enxagues com ácido são necessários para remover o álcali e o agente redutor.

O consumo de água é alto, visto o grande número de lavagens necessárias. Além disso, existe a preocupação com a utilização do hidrossulfito de sódio, o que aumenta a quantidade de sal no efluente, deste modo, dificultando o tratamento final do mesmo.

O corante não fixado da superfície do substrato, deve ser removido desarranjando o mesmo por redução química da ligação azo e antraquinona dos corantes dispersos, melhorando as características físicas e estéticas do material. Araújo (2009) menciona que a concentração de corante no banho, assim como, a propensão do mesmo em depositar-se na superfície da fibra influencia na qualidade do tingimento.

Deste modo, a lavagem redutiva traz benefícios como o aumento da luminosidade das cores, solidez além de favorecer as etapas posteriores ao tingimento (ROUETTE, 1995; GACÉN, 2007). Conforme Gacén (2007), a quantidade de lavagens pode variar de acordo com a tonalidade do tingimento. Burkinshaw e Kumar (2008) citam que um processo convencional de lavagem redutiva é realizado por um período de 20 a 30 minutos a faixa de temperatura entre 50 e 70° C, empregando NaOH, Na₂S₂O₄ e surfactantes, além da necessidade de neutralização com ácido acético. No mesmo trabalho, os autores utilizam o método descrito na Figura 5, comparado a um processo alternativo, com lavagem ocorrendo a 98 °C por 15 minutos empregando detergente, com objetivo de avaliar a solidez a cor do substrato têxtil e a diferença entre a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), COT (Carbono Orgânico Total) e sólidos

suspensos no residual líquido entre os dois métodos. Os resultados se mostraram satisfatórios para a redução desses parâmetros.



Fonte: Adaptado de Burkinshaw e Kumar (2008).

2.5 SOLIDEZ DA COR

Segundo a norma de solidez da cor, NBR ISO 105-A01 (ABNT, 2011), entende-se por solidez da cor a resistência a diferentes agentes aos quais materiais têxteis possam estar expostos durante sua fabricação e uso subsequente. A alteração e a transferência da cor ao tecido testemunha não tinto são avaliadas como índice de solidez. Outras alterações visíveis no material têxtil a ensaiar, como, por exemplo, efeitos superficiais, alteração de brilho ou encolhimento, devem ser consideradas como propriedades separadas e reportadas como tais (SALVI, 2018).

O teste de solidez é realizado para garantir a qualidade do substrato têxtil final e reduzir os prejuízos que podem ocorrer em processos posteriores. A realização do teste tem como principal objetivo a prevenção da migração de cor. Neste teste é analisada a resistência de cor a diferentes agentes como: água, água do mar, suor, atrito, lavagem caseira, luz solar e passagem a ferro. Estas condições foram pensadas visto que o substrato pode ser exposto durante o processo, ou durante seu uso, a diferentes e severas condições. No Quadro 2 estão listados importantes testes de solidez aplicados na avaliação de substratos têxteis.

Quadro 2 – Testes de solidez.

Teste	Norma	Objetivo
Solidez da cor de têxteis sob a ação de fricção	ISO 105-X12:2019	Análise da transferência de cor dos tecidos a partir da fricção com um tecido-testemunha friccionado a seco ou a úmido
Solidez da cor de têxteis sob a ação da lavagem doméstica	ABNT NBR ISO 105-C06:2010	Análise de transferência de cor utilizando dois tecidos testemunha
Solidez da cor de têxteis sob ação da luz artificial	ABNT NBR ISO 105-B02:2007	Avaliação da solidez por exposição da amostra a luz artificial comparada com tecidos de referência
Solidez da cor de têxteis sob a ação do suor	ABNT NBR ISO 105-E04:2014	Análise a partir do tratamento do tecido com soluções de histidina e posteriormente, comparados com padrões.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

2.6 ECONOMIA DE ÁGUA E REDUÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

É inegável a larga utilização de recursos hídricos, químicos e energéticos na indústria têxtil. Majoritariamente nos processos convencionais de tingimento, os quais utilizam uma quantidade considerável de auxiliares químicos, durante e após a etapa de beneficiamento (BAI et al., 2019). Dentre os processos cita-se a lavagem reductiva a qual se realizada de forma inadequada pode contribuir para a geração de efluentes carregados de carga orgânica de difícil tratamento. O residual líquido têxtil é composto geralmente de ácidos, álcalis, sais inorgânicos, agentes redutores, surfactantes, fibras e outros elementos (PELÁEZ-CID et al., 2019).

É interessante apontar que o tratamento de efluentes têxteis é fator importante para o meio ambiente, a partir do fato de que quando não administrado de forma coerente, causa sérios danos não apenas a vida aquática, como também a saúde dos seres humanos (SIRIRERKRATANA et al., 2019; REZAJE E

MONTAZER, 2019). De fato, deve-se atentar aos cuidados com o efluente, onde mesmo com a tendência global na investigação de processos limpos para a indústria, há locais no qual o descarte é feito de forma indevida. Em um de seus estudos, Vanjnhandl e Valh (2014), citam, uma pesquisa realizada com 127 indústrias têxteis na Alemanha, onde 11% das empresas despejam o residual líquido sem tratamento prévio no meio ambiente (Bohm et al., 2000).

Desta forma, além da busca por métodos mais eficazes de produção, deve existir a conscientização das empresas que não praticam as diretrizes de órgãos ambientais. Além disso, outros problemas podem ser relacionados, conforme Karthik e Rathinamoorthy (2017) os quais citam a poluição sonora, emissão de gases e excesso de compostos geradores de odores fortes no meio ambiente (VIJAYARAAGHAVAN E KARTHIK, 2004; FLETCHER, 2008; CLIMATE CHANGE E THE TEXTILE INDUSTRY, 2014). Desta forma, é inerente ao setor a seriedade com o meio ambiente, a fim de atingir formas sustentáveis de produção.

A lavagem redutiva é fator relevante, tanto no resultado do tingimento de tecidos, como também, na geração de efluentes. As substâncias utilizadas na remoção do corante não fixado são ambientalmente agressivas, considerando a presença de amins e substâncias aromáticas, além de impactar no consumo de energia e custo do processo com a variabilidade do pH do banho, tingimento ácido, limpeza alcalina e subsequente, neutralização (BURKINSHAW E KUMAR, 2008). Nesse sentido, estudos visam à melhoria da manufatura com o desenvolvimento de processos, insumos e maquinário, que garantam a qualidade dos produtos, assim como a responsabilidade ambiental.

Atualmente, a indústria têxtil opera em um ambiente cada vez mais competitivo. Com isso, as empresas buscam maior controle e redução nos custos de produção. O controle de qualidade na indústria deve ter como objetivo a análise da eficiência e eficácia dos processos, buscando evitar desperdícios, falhas e gargalos a fim de reduzir custos do processo produtivo e alcançar a satisfação do cliente final.

Questões como periculosidade e impactos ambientais também devem ser levadas em consideração para a escolha do produto a ser utilizado nos processos industriais. A periculosidade é relacionada ao risco que o operador corre ao executar

sua função no ambiente de trabalho. A área de beneficiamento têxtil apresenta alta periculosidade por se tratar de um setor da indústria que utiliza diversos produtos químicos em seus processos. Conseqüentemente, os produtos que apresentam alta periculosidade ao ser humano também costumam apresentar grandes impactos ambientais. Um levantamento de custo, periculosidade e impactos ambientais dos redutores empregados no estudo foi realizado a fim de embasar a escolha do melhor processo de redução de corante no tingimento de poliéster na cor preta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Para a realização dos experimentos deste estudo foram utilizados os materiais detalhados no Quadro 3.

Quadro 3 – Materiais empregados no estudo.

Corante/Auxiliar	Descrição	Fornecedor
Corante Disperso Preto Colorpes CC-R	Color Index não informado. Corante disperso para tingimento de fibras de poliéster.	Color Química do Brasil
Fios de poliéster	Título: 150/48x2 Denier	Não informado
Hidróxido de sódio (NaOH)	Álcali para ajuste de pH da lavagem reductiva.	Buschle e Lepper
Colorsperse DI 650-1	Dispersante e igualizante utilizado em tingimentos de fibra de poliéster.	Color Química do Brasil
Ekocid LP2	Ácido empregado para ajuste de pH do banho de tingimento.	Ekotex Química
Adulcinol STA-BR	Amaciante para fibras de poliéster	Zschimmer & Schwarz
Redutor 1	Hidrossulfito de sódio	Não informado
Redutor 2	Dióxido de Tiouréia	Não informado
Redutor 3	Ácido de sal sódico	Não informado
Redutor 4	Ácido hipofosforoso modificado	Não informado
Redutor 5	Dextrose	Não informado

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Estes materiais são empregados para garantir a solidez final do tingimento e a sua avaliação é relevante para que sejam identificadas questões de custo, qualidade, impactos ambientais e segurança.

3.2 MÉTODOS

3.1.1 Processo de tingimento

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Beneficiamento (LABENE) da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Blumenau. Para a realização dos processos de tingimento, as amostras foram tingidas em máquina de tingimento por esgotamento, com canecos da marca TexControl, modelo TC 2200, com aquecimento por infravermelho (IR). O tingimento foi realizado em relação de banho 1:10, sendo que, para 1 grama de substrato, são necessários 10 mL de banho de água. As amostras de fios de composição 100% poliéster foram separadas em onze meadas de 2,5 g cada. O pH inicial do tingimento foi controlado entre 4,5-5. O processo iniciou-se a temperatura ambiente com aquecimento de 3,25 °C por minuto, com aquecimento do banho 130 °C. Após atingir essa temperatura, o banho circulou por 30 minutos até a finalização do processo.

As onze amostras foram tingidas de acordo com o procedimento de tingimento padrão apresentado no Quadro 4, sendo uma amostra considerada padrão sem o uso de um agente redutor. Esta amostra foi utilizada posteriormente para análise de intensidade da cor como descrito no item 3.2.3.

Quadro 4 – Procedimento de tingimento padrão.

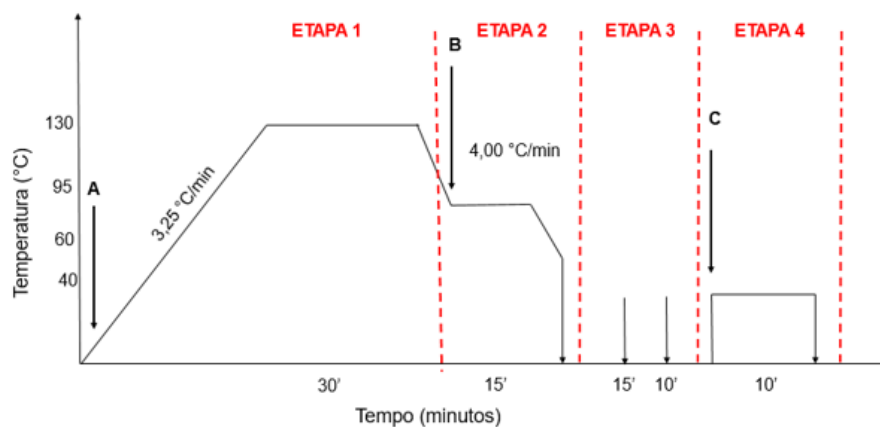
Material	Concentração
Corante Disperso Preto CC-R	2% (s.p.m)*
Amaciante Adulcinol STA- BR	2% (s.p.m)*
Colorsperse DI 650-1	2 g/L
Ekocid LP 2	0,3 g/L

*: s.p.m (sobre peso do material)

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

O gráfico de tingimento utilizado no laboratório foi elaborado conforme um processo já existente em uma tinturaria da região de Blumenau com a finalidade de analisar os resultados obtidos a fim de compará-los com a escala industrial verificando parâmetros como: qualidade, eficiência, periculosidade, impactos ambientais e o custo do processo. A metodologia aplicada na análise do uso de diferentes redutores pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 – Tingimento de poliéster preto com banho redutivo.



A = Corante Preto CC-R 2%
 Colorsperse DI 650-1 2g/L
 Ekocid LP-2 0,3 g/L

B = Redutor
 Soda (quando necessário)

C = Adulcinol STA-BR

ETAPA 1- Tingimento
 ETAPA 2- Redutiva
 ETAPA 3- Lavaçã
 ETAPA 4- Amaciamento

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

3.2.2 PROCESSO DE REDUÇÃO DO CORANTE RESIDUAL

O processo de redução do corante residual acontece após o tingimento que é seguido por uma ou mais lavações e que tem como objetivo retirar o excesso de corante depositado na superfície da fibra. Moléculas de corante que não foram adsorvidas e difundidas no substrato têxtil durante o tingimento podem permanecer em sua superfície ou presas entre as fibras e fios. Posteriormente, se estas

moléculas de corante não forem tratadas por processos redutivos estas sairão do substrato quando forem utilizadas pelo consumidor. Deste modo, ao final do tingimento, o agente redutor foi adicionado aos canecos e o pH foi ajustado conforme boletim técnico de cada produto. O pH indicado conforme o boletim técnico de cada produto para cada banho redutivo é apresentado na Tabela 1. Para o ajuste do pH, foram empregados NaOH para pH alcalino e Ekocid LP2 para pH ácido.

Tabela 1 – Controle de pH dos banhos redutivos de tingimento.

Redutor	pH
Redutor 1	12
Redutor 2	12
Redutor 3	6-7,0
Redutor 4	4,5-5
Redutor 5	12

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A lavagem redutiva foi realizada após o tingimento adicionando-se um agente redutor, conforme pode ser observado na Figura 1, na etapa 2. O agente redutor foi adicionado ao banho de tingimento, em banho simultâneo, tratando a fibra por quinze minutos em temperatura de 95 °C e logo após enxaguando-a em duas lavações com água, etapa 3.

Alíquotas do banho foram coletadas ao longo do processo com o objetivo de análise da redução de corante residual por meio da leitura de absorbância. Para alguns tingimentos foi utilizado o Hidróxido de sódio no banho redutivo e para outros redutores, que possuem apelo ecológico segundo seus fornecedores, a lavagem redutiva foi realizada apenas com o redutor.

A quantidade de redutor aplicada após o processo de tingimento em banho simultâneo é apresentada no Quadro 5 e a quantidade empregada foi definida conforme as indicações médias nas fichas técnicas dos produtos.

Quadro 5 – Processo redutivo no tingimento de fios de poliéster.

Tingimento	Redutor	Concentração (s.p.m)	Base química
1	Redutor 1	3%	Hidrossulfito de sódio
2	Redutor 1	2%	Hidrossulfito de sódio
3	Redutor 2	3%	Dióxido de Tiouréia
4	Redutor 2	2%	Dióxido de Tiouréia
5	Redutor 3	3%	Ácido de sal sódico
6	Redutor 3	2%	Ácido de sal sódico
7	Redutor 4	3%	Ácido hipofosforoso modificado
8	Redutor 4	2%	Ácido hipofosforoso modificado
9	Redutor 5	3%	Dextrose
10	Redutor 5	2%	Dextrose

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

3.2.3 AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DA COR

Para avaliar a intensidade da cor após cada tingimento e seu respectivo banho redutivo, os substratos tingidos tiveram sua cor medida em espectrofotômetro de reflectância da marca Datacolor, modelo 500. A partir das coordenadas de cada amostra foi possível realizar as análises de cor medindo-se parâmetros de intensidade colorística (K/S) e diferença de cor residual (ΔE). O iluminante utilizado foi o D65, abertura de 9 mm e observador 10°. A análise foi realizada conforme as coordenadas denominadas CIELab, criadas pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE). Os parâmetros avaliados foram L^* (luminosidade), a^* (verde - vermelho) e b^* (azul – amarelo). Com a leitura de cor de cada amostra foi possível fazer uma comparação de diferença de cor com a amostra padrão. Para comparar numericamente estes resultados é utilizado o ΔE .

Segundo Leão, 2005, tendo o valor numérico de duas cores em L^* a^* b^* , é realizada a colocação das mesmas e registrada a distância entre elas como sendo pontos no

modelo de cor uniforme (CIELAB). Se essa distância estiver dentro do valor de aceitação de ΔE , a diferença de cor entre as amostras analisadas estará aprovada. A diferença de cor foi calculada através da Equação 1.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{Eq. 1}$$

A intensidade colorística (K/S) foi obtida a partir da equação de Kubelka-Munke calculada através da Equação 2.

$$K/S = (1 - R)^2/2R \quad \text{Eq. 2}$$

Em que K corresponde à absorção de luz pelo corante, S à medida da difusão da luz pelo substrato e R ao valor da remissão

O objetivo da análise foi verificar a variação de cor nos substratos tingidos nas diferentes concentrações e tipos de redutor aplicados aos tingimentos.

3.2.4 CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE CORANTE NO BANHO DE TINGIMENTO

A concentração de uma amostra não é uma grandeza física observável. Em um processo analítico quantitativo esta é sempre determinada indiretamente através da medida de outra grandeza como: absorvância ou emissão de luz, condutividade entre outras. Então, para chegar ao valor da concentração de uma amostra, deve-se encontrar uma função que relacione as medidas efetivamente realizadas com a concentração procurada, sendo necessário realizar a construção de curva uma calibração (PIMENTEL, NETO, 1996).

Para a construção da curva de calibração, uma amostra de corante preto foi analisada em diferentes concentrações. As concentrações utilizadas foram: 10 mg/L, 50 mg/L, 25 mg/L e 100 mg/L. A análise foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis da marca BEL Photonics, modelo UV-M51, disponível no Laboratório de Beneficiamento (LABENE). Para verificar a interação da luz com o corante foi realizada a varredura e determinado o comprimento de onda do corante em que

apresenta maior afinidade de absorção. A curva foi construída a partir dos resultados obtidos após a leitura no espectrofotômetro. Com a curva, foi possível determinar a concentração residual de corante em cada etapa do processo.

3.2.5 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE CORANTE APÓS OS PROCESSOS DE TINGIMENTO E REDUÇÃO DO CORANTE

Foram realizadas leituras de absorbância em espectrofotômetro UV-Vis da marca BEL Photonics, modelo UV-M51 no comprimento de onda 203 nm, determinado no item 2.3.4. As alíquotas utilizadas para leitura no espectro foram: banho inicial de tingimento, banho antes de adicionar o redutor, após etapa redutiva, após a primeira lavagem e após a segunda lavagem. Estas leituras geraram gráficos de concentração de corante no banho ao longo do processo. A eficiência de cada processo redutivo foi calculada através da Equação 3.

$$Eficiência = \frac{\text{conc. de corante antes do redutor} - \text{conc. final de corante após 2ª lavagem}}{\text{conc. de corante antes do redutor}} \quad \text{Eq. 3}$$

3.2.6 AVALIAÇÃO DA SOLIDEZ DA COR À LAVAGEM DOMÉSTICA

A análise de solidez da cor à lavagem doméstica foi realizada com base na norma ABNT NBR ISO 105: Ensaio de Solidez à cor – Parte C06:2010: Solidez da cor à lavagem doméstica e comercial. Para cada tingimento, amostras de substrato foram costuradas em formato sanduíche com tecidos testemunha de algodão e poliéster, no tamanho de 10 cm x 4 cm. Em máquina para tingimento de canecos Texcontrol, as amostras foram lavadas com sabão doméstico em concentração de 4 g/L, a 40 °C por 30 minutos. Após o teste, as amostras foram analisadas em escala de cinza quanto à alteração e transferência, com classificação variando de 5 (nenhuma alteração/manchamento) a 1 (alta alteração/manchamento).

3.2.7 AVALIAÇÃO DA SOLIDEZ DA COR À FRICÇÃO A SECO E A ÚMIDO

O teste de solidez à fricção seguiu a metodologia baseada na norma ABNT NBR ISO 105: Ensaio de solidez à cor – Parte X12:2019: Solidez da cor à fricção. As dez amostras foram preparadas adaptando a norma costurando-se a meada de fio em corpos de prova de 140 mm por 50 mm. O teste foi realizado no equipamento *Crockmeter* de marca Kimak e modelo CA-11, com tecido testemunha de algodão e tecido de poliéster. Duas amostras de tecido testemunha branco de poliéster foram utilizadas para realizar os testes, sendo uma amostra para solidez a seco e outra para solidez a úmido. Cada amostra foi submetida à fricção utilizando 20 ciclos com velocidade de um ciclo por segundo. Com o teste realizado utilizou-se a escala de cinza para verificar o grau de manchamento e alteração de cor das meadas.

3.2.8 AVALIAÇÃO DA SOLIDEZ DA COR À LUZ

O teste de solidez à luz foi realizado conforme a norma ABNT NBR ISO 105: Ensaio de Solidez à cor – Parte B02:2019: Solidez da cor à luz artificial: Ensaio da lâmpada de desbotamento de arco de xenônio. As meadas foram submetidas à lâmpada de arco de xenônio por 25 horas, e analisadas quanto ao desbotamento em escala de azul. A análise foi realizada pelo laboratório LAFITE do SENAI de Brusque. Após o teste, as amostras analisadas foram classificadas com notas variando de 1 (solidez da cor muito baixa à luz) a 8 (solidez da cor muito elevada à luz). Devido a limitações foram analisadas seis amostras de diferentes formulações de banho redutivo, ambas com corante preto. As amostras analisadas neste teste seguem a formulação descrita no Quadro 6.

Quadro 6 – Formulação banho redutivo das amostras analisadas.

Amostra	Redutor	Concentração (s.p.m)
1	Redutor 1	3%
3	Redutor 2	3%
5	Redutor 3	3%
7	Redutor 4	3%
9	Redutor 5	3%

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

3.2.9 LEVANTAMENTO DE DADOS DE CUSTO, PERICULOSIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS DOS REDUTORES EMPREGADOS

O levantamento de custo dos produtos foi realizado por meio de consultas com os fornecedores dos redutores, por meio de contato por telefone ou e-mail. Com este contato também foi solicitado o envio do boletim técnico de cada produto e sua ficha de segurança a fim de analisar e identificar os perigos e impactos ambientais. Com todos os documentos foi possível fazer um comparativo analisando classificação de periculosidade e impactos ambientais estabelecidas conforme as fichas técnicas dos cinco redutores utilizados no processo de tingimento.

Para a definição do custo químico do processo redutivo, deve-se realizar um mapeamento do processo de produção. A partir deste mapeamento é possível identificar e analisar todas as etapas do processo que contribuíram para a escolha decisória da melhor alternativa. Calculou-se o custo unitário, por kg de substrato, do processo redutivo considerando um lote de tingimento de 100 kg. Para o cálculo do custo para um lote de 100 kg de massa utilizou-se a Equação 4.

$$\text{Custo por lote} = \text{Concentração de produto (\%)} * 100 * \text{preço por quilo} \quad \text{Eq. 4}$$

Além do custo total por lote, foi calculado o custo unitário, por kg de massa de substrato têxtil, por meio da Equação 5.

$$\text{Custo unitário} = \frac{\text{custo por lote}}{100} \quad \text{Eq. 5}$$

4 RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DA COR

Todas as amostras tintas foram analisadas em espectrofotômetro de reflectância conforme etapa 3.2.3. Os resultados obtidos nas leituras são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Coordenadas e força colorística das amostras avaliadas.

Amostra	Redutor	Concentração (s.p.m)	L*	a*	b*	dE	K/S
1	Redutor 1	3%	0,69	-0,21	-0,28	0,77	752,34
2	Redutor 1	2%	0,09	-0,26	-0,29	0,40	799,75
3	Redutor 2	3%	0,52	-0,08	-0,20	0,56	765,57
4	Redutor 2	2%	0,01	-0,12	-0,04	0,13	808,05
5	Redutor 3	3%	0,23	-0,20	0,01	0,31	795,09
6	Redutor 3	2%	0,54	-0,04	-0,30	0,62	762,76
7	Redutor 4	3%	0,50	0,00	-0,11	0,52	768,55
8	Redutor 4	2%	-0,17	-0,17	0,04	0,25	827,72
9	Redutor 5	3%	-0,35	-0,29	-0,39	0,60	835,81
10	Redutor 5	2%	0,27	-0,19	-0,23	0,40	785,88

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As coordenadas CIELab utilizadas para comparativo de intensidade da cor dos processos redutivos foram: L*, a* e b* e Delta E. As amostras apresentaram coordenadas indicando maior intensidade de verde e azul. O corante preto utilizado é uma mistura de corantes e a intensidade de verde e azul pode ser justificada por esta condição. As leituras das amostras foram realizadas fazendo comparativo com uma amostra de cor padrão. Através da leitura no espectrofotômetro de reflectância e analisando os espaços de cor é possível relacionar as diferenças numéricas com a diferença visual de cor. Os valores apresentados nas leituras considerando um limite de tolerância de aprovação de Delta E = 1 estão dentro dos valores de tolerância

definidos como padrão de qualidade normalmente utilizado nas indústrias têxteis. Os valores mais próximos de Delta E = foram das amostras 1, 3, 6, 7 e 9 que apresentaram menor absorção uniforme do corante a fibra provocando maior diferença na intensidade da cor. O maior delta E encontrado foi utilizando o redutor 1, em uma concentração de 3%. Este valor pode ser justificado pela maior interação do redutor com o corante, ocasionando maior redução do corante e a perda na intensidade da cor. Os processos redutivos com o emprego de 2% de agente redutor apresentaram os melhores resultados de intensidade da cor em comparação com o padrão, ou seja, houve menor redução do corante. Quanto aos valores de K/S as amostras que apresentaram maior intensidade da cor foram as amostras 9,8,4 e 5, respectivamente, vistos que, quanto maior é o valor de K/S maior será a intensidade da cor. Este resultado ao mesmo tempo em que indica um melhor resultado no quesito cor, pode indicar também um resultado insatisfatório no que diz respeito a redução do corante, o que deve ser avaliado nos testes de solidez apresentados no decorrer do trabalho.

4.2 CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE CORANTE NO BANHO DE TINGIMENTO

Para encontrar as concentrações de residual de corante nas amostras coletadas durante o processo de tingimento, utilizou-se a equação da reta que foi obtida a partir da curva de calibração de concentração (mg/L) de corante versus Absorbância. A partir dos resultados das leituras de absorbância para concentrações de corante preto, diferentes e conhecidas, como mostra a Tabela 3, foi construída a curva de calibração.

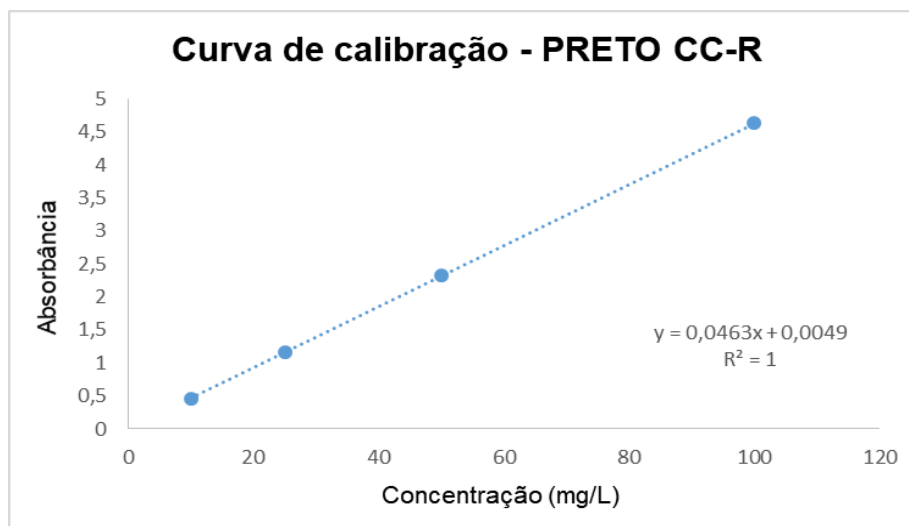
Tabela 3 – Concentração conhecida e absorbância do corante Preto CC-R.

Concentrações (mg L-1)	Absorbância
10	0,463
25	1,163
50	2,326
100	4,630

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Com isto, a curva de calibração foi construída, como pode ser visto no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Curva de calibração do corante Preto CC-R.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A curva apresentou boa linearidade, considerando $R^2 = 1$. A equação da reta empregada para os cálculos de concentração foi $abs = 0,0463 \times \text{concentração} + 0,0049$. Esta equação foi utilizada para quantificar as concentrações de corante preto encontradas em cada etapa do tingimento, em mg/L.

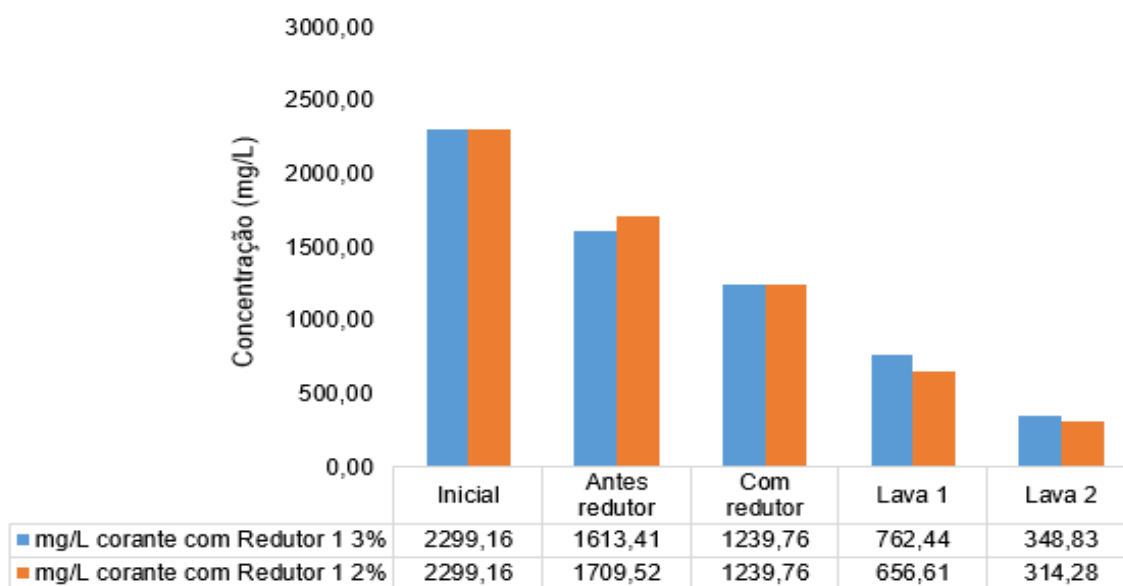
4.3 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE CORANTE APÓS OS PROCESSOS DE TINGIMENTO E REDUÇÃO DE CORANTE

A partir da curva de calibração do espectro foram realizadas as leituras das alíquotas coletadas em diferentes tempos de processo. Os valores das leituras obtidos foram utilizados para construção de gráficos para a avaliação de concentração residual de corante. Após os processos de tingimento, cada amostra foi avaliada no quesito esgotamento e redução de corante, por meio da análise de concentração de corante residual, de acordo com o método descrito no item 3.2.5.

O Gráfico 3 apresenta os resultados do redutor 1 para concentrações de 3% (s.p.m) e 2% (s.p.m). O redutor apresenta como base química o hidrossulfito de sódio ou também conhecido como dionito de sódio.

Gráfico 3 – Tingimento poliéster preto com redutor 1.

Tingimento Poliéster Preto, redutiva com Redutor 1



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

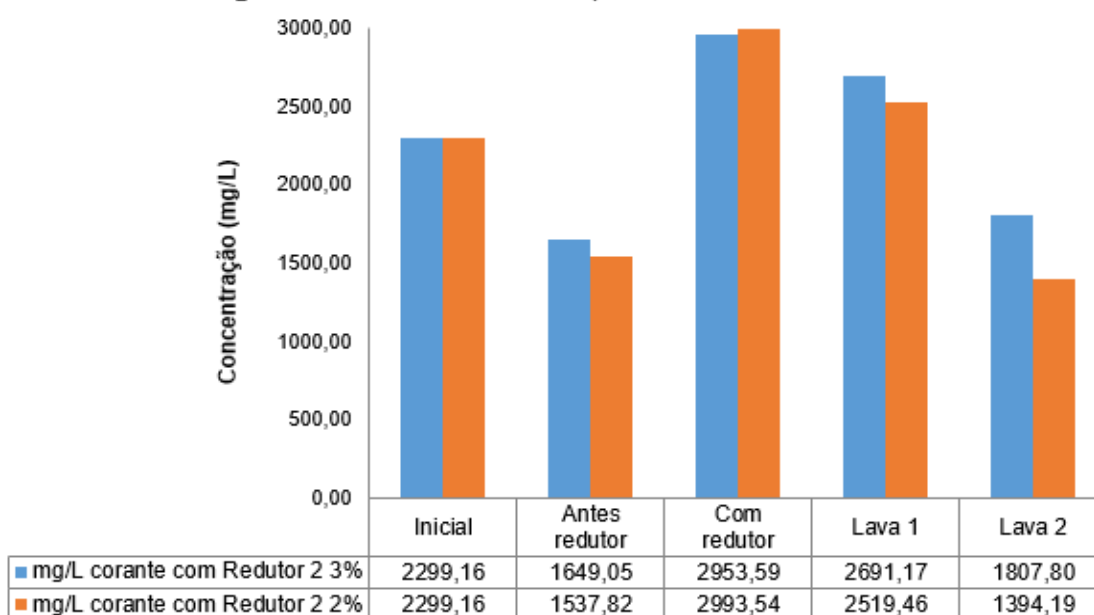
Avaliando a concentração de corante no banho em cada etapa, percebe-se a efetividade do processo utilizando o hidrossulfito de sódio e o hidróxido de sódio nas concentrações apresentadas, sendo que o melhor resultado encontrado foi a 2% (s.p.m) de redutor, onde a concentração final de corante encontrada foi de 314,28 mg/L após a segunda lavagem e a eficiência de remoção de corante foi de 81,62%. Para uma concentração de 3% de redutor, a concentração final de corante foi de 348,83 mg/L e a eficiência de remoção de corante foi de 78,38%. A eficiência pode ser justificada pela redução de corante residual após adicionar o agente redutor. O agente redutor retirou o corante que não havia sido esgotado e estava em excesso no substrato, reduzindo as concentrações de corante depositado na fibra após o tingimento. O hidrossulfito ainda é um produto muito utilizado em processos redutivos, porém, deve ser utilizado nos processos com muita cautela pois, apresenta perigo à indústria, ao colaborador e ao meio ambiente.

Segundo a ficha de segurança do produto, o hidrossulfito de sódio é um químico higroscópico, ou seja, apresenta propriedade de absorção a água que pode causar uma combustão espontânea em contato com a umidade do ambiente industrial. Além disso, é vendido em forma de pó, e por possuir uma granulometria fina, pode atingir os olhos e mucosas podendo ocasionar problemas a saúde do operador. É um redutor inorgânico e não é biodegradável. Quando o banho redutivo é inserido ao efluente, ocorre uma grande perda de oxigênio e um desequilíbrio para os processos aeróbicos nas águas residuais (ALEEM, 2013). O tratamento deste efluente exige os devidos cuidados conforme as normas existentes para o retorno ao meio ambiente.

O redutor 2, com base química de Dióxido de Tioureia, é também conhecido por ser um sal orgânico com propriedades semelhantes a ureia. Os resultados obtidos podem ser observados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Tingimento poliéster preto com redutor 2.

Tingimento Poliéster Preto, redutiva com Redutor 2



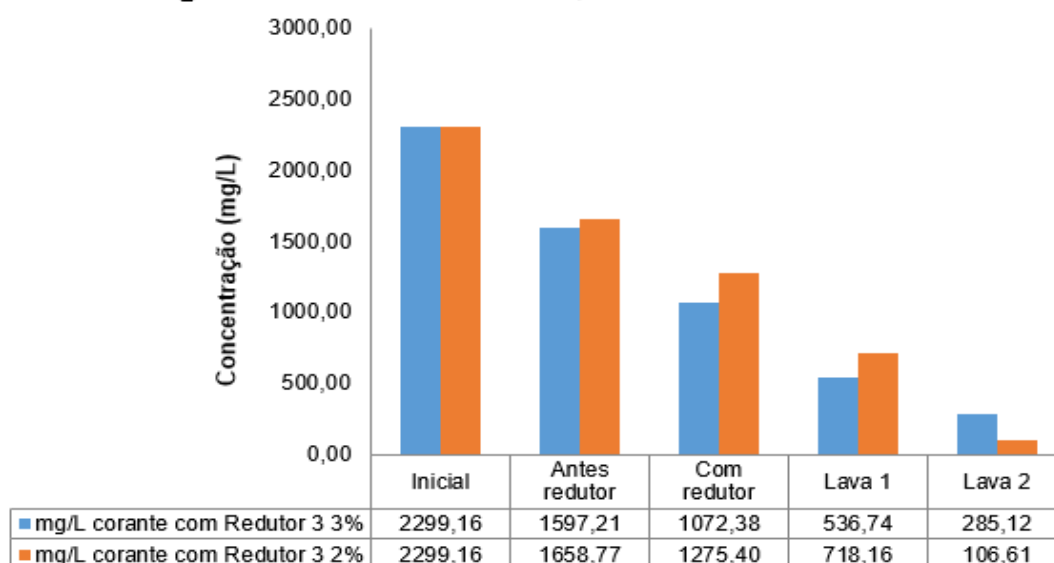
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Apesar de o dióxido de tioureia ser indicado para substituição do hidrossulfito de sódio em reações de redução de fibras sintéticas, neste caso apresentou resultados com altos níveis de corante residual no banho de tingimento.

Com a inserção do redutor ao banho houve um aumento de concentração residual de corante, mantendo-se alto mesmo após ao final da segunda lavação. Para o banho redutivo com redutor a 3%, a concentração final de corante encontrada foi de 1807,80 mg/L com aumento de concentração de corante mesmo após a segunda lavação. Para a redutiva a 2% a concentração final foi de 1394,19 mg/L e eficiência de 9,34%. Houve uma baixa eficiência neste processo quando comparado aos demais redutores testados nas mesmas condições. Esta baixa eficiência indica que é possível que o redutor tenha promovido a dessorção do corante da fibra, trazendo-o para o banho e alterando a coloração mudando assim, seu comprimento de onda. A leitura das alíquotas com a alteração de cor pode ter resultado em concentrações residuais fora do comprimento de onda inicial da leitura alterando-se os parâmetros pré-estabelecidos e causando uma alteração nos resultados de corante residual ao final de cada etapa do banho redutivo. Neste caso, para a diminuição da concentração residual seria necessário realizar mais lavações para retirada do corante em excesso da fibra, conseqüentemente com maior uso de água no processo, não sendo viável em condições de custos industriais e impactos ambientais.

O redutor 3 apresenta base química ácido de sal sódico. Os resultados obtidos podem ser vistos no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Tingimento poliéster preto com Redutor 3.
Tingimento Poliéster Preto, redutiva com Redutor 3

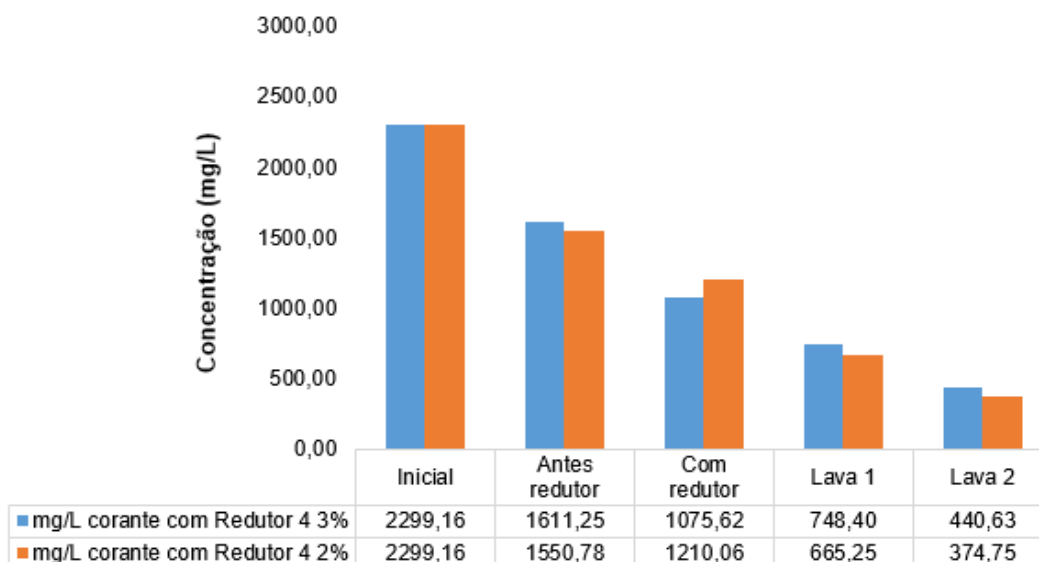


Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A amostra com adição de 2% de redutor apresentou maior concentração de corante residual no banho quando comparado a amostra com adição de 3% de redutor, o que se manteve após a primeira lavagem. Ao final da segunda lavagem obteve-se uma concentração residual de corante de 106,61 mg/L e eficiência de remoção de corante na ordem de 93,61% para a amostra com adição de 2% de redutor, enquanto para a concentração de 3% de redutor a concentração final de corante residual foi 285,12 mg/L. Mesmo com uma sobra maior de corante antes do processo de redução, este redutor apresentou melhor eficiência com menor adição do produto.

O quarto redutor utilizado foi à base química de ácido hipofosforoso modificado. Os resultados obtidos podem ser vistos no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Tingimento poliéster preto com Redutor 4.
Tingimento Poliéster Preto, redutiva com Redutor 4

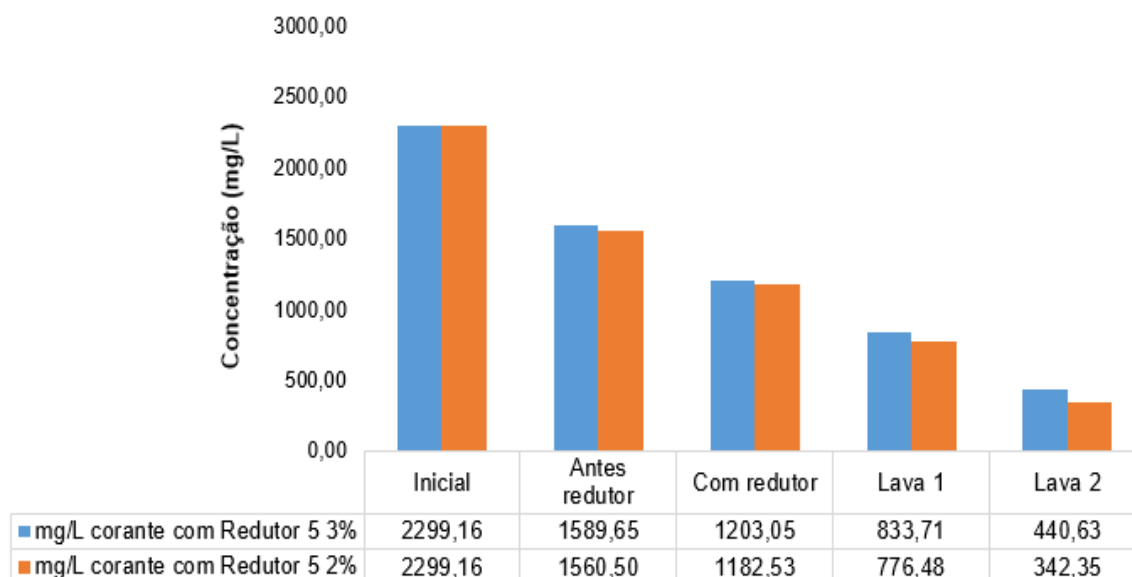


Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Novamente os melhores resultados redutivos foram em banho com concentração de 2% (s.p.m) de redutor com concentração final de corante de 374,45 mg/L após a segunda lavagem e eficiência de redução de corante de 75,84%. Para concentração de 3% (s.p.m) de redutor a concentração final de corante foi 440,63 mg/L e eficiência de processo de 72,65%. Segundo a ficha de segurança e boletim técnico, o produto utilizado é biodegradável, não apresenta flamabilidade espontânea além de não necessitar da adição de álcalis em banho redutivo, não sendo necessária a neutralização do banho posteriormente, o que produz grande economia de tempo, energia, água e outros produtos químicos, além de efluentes mais limpos e com maior facilidade de serem tratados.

O quinto redutor utilizado apresenta como base química a dextrose. A dextrose pertence à classe de compostos denominados carboidratos, apresenta ação redutora devido à presença de um grupo aldeído em sua composição química (Aleem 2013). Os resultados desta redutiva são apresentados no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Tingimento poliéster preto com redutor 5.
Tingimento Poliéster Preto, redutiva com Redutor 5



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

O tingimento com menor concentração de corante residual ao final do processo foi com concentração de 2% de agente redutor com uma concentração de corante ao final do processo de 342,25 mg/L e de 78,06% de eficiência de redução de corante. Já para a concentração de 3% de redutor a concentração de corante residual corante ao final do processo foi de 440,63 mg/L e a eficiência de processo de 72,28%. Nas duas concentrações houve o declínio da concentração de corante residual após a inserção do agente redutor ao banho, justificando a eficiência do processo redutivo que retirou o residual de corante que estava na superfície do substrato têxtil. A dextrose apresenta grande vantagem por ser um redutor biodegradável, e de fácil manuseio no processo além de não apresentar cheiro forte e ótimo custo. No entanto, como em qualquer processo deve-se ter o controle de pH e temperatura do tingimento, pois a dextrose apresenta caráter redutivo apenas a altas temperaturas e sob condições de alta alcalinidade (ALEEM, 2013).

Comparando os resultados obtidos experimentalmente e considerando apenas os resultados finais de concentração de corante residual, o melhor resultado encontrado foi do redutor 3 na concentração de 2 % com concentração residual final

de corante de 106,61 mg/L e eficiência de redução de corante de 93,61%. A base química do redutor 3 é um ácido de sal sódico, a partir do Gráfico 4 é possível verificar que o redutor sem a utilização de hidróxido de sódio obteve a maior eficiência. Conforme o boletim e ficha de segurança deste produto, o uso deste redutor em processos produtivos são uma ótima alternativa ecológica para eliminação do hidrossulfito de sódio, soda caustica e detergentes nos banhos de lavagem redutiva, além de ser de fácil manipulação e amigável ao meio ambiente. O segundo melhor resultado foi do redutor 1, na concentração de 2% com concentração final de corante de 374,45 mg/L após a segunda lavagem e eficiência de redução de corante de 81,62%. Porém, o redutor 1, hidrossulfito de sódio, é um produto não biodegradável além de apresentar perigos ao meio ambiente e aos operadores. O terceiro melhor resultado foi do redutor 5 a 2% com concentração final de corante de 374,45 mg/L após a segunda lavagem e eficiência de redução de corante de 78,06%. Este redutor também pode ser utilizado como uma alternativa de processo ecológica para eliminação do processo convencional. Sendo assim, a escolha para utilização em um processo industrial considerando o melhor resultado de corante residual e a melhor eficiência de redução de corante ao final do processo de tingimento seria o redutor 3, a base de ácido de sal sódico.

4.4 AVALIAÇÃO DA SOLIDEZ DA COR À LAVAGEM

As amostras testadas quanto à solidez à lavagem doméstica foram analisadas em escala de cinza. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Análise dos resultados de solidez a transferência através da avaliação da solidez a lavagem pela escala de cinza.

Redutor	Concentração de redutor (%)	Nota de Solidez a lavagem	
		Tecido testemunha de CO	Tecido testemunha de PES
Redutor 1	2	4/5	5
Redutor 1	3	4/5	5
Redutor 2	2	4/5	4/5
Redutor 2	3	4	4/5
Redutor 3	2	4/5	4/5
Redutor 3	3	4/5	4/5
Redutor 4	2	4/5	4/5
Redutor 4	3	5	4/5
Redutor 5	2	4/5	4/5
Redutor 5	3	4/5	4/5

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As notas de solidez à lavagem, no que diz respeito à transferência, variaram entre 5 e 4/5. Este comportamento de boa solidez pode ser justificado pela substantividade do corante com a fibra de poliéster e pela eficiência da lavagem redutiva. Já a amostra com o redutor 2, em concentração de 3%, apresentou nota 4 para o tecido testemunha de algodão, comportamento esperado, dados os resultados de redução do corante no banho de tingimento e lavagens finais.

4.5 AVALIAÇÃO DE SOLIDEZ DA COR À FRICÇÃO A SECO E A ÚMIDO

Todas as amostras apresentaram alta solidez à fricção, tanto a seco como a úmido. Na Tabela 5, podem ser vistas as notas atribuídas às amostras testadas quanto à solidez à fricção, por meio do auxílio de escala cinza.

Tabela 5 – Resultado das análises de fricção a seco e a úmido do processo redutivo do tingimento de fios de poliéster na cor Preto.

Redutor	Concentração de redutor (%)	Nota de Solidez à fricção	
		Fricção seco	Fricção úmido
Redutor 1	2	5	5
Redutor 1	3	5	5
Redutor 2	2	4/5	4/5
Redutor 2	3	4/5	4/5
Redutor 3	2	5	5
Redutor 3	3	5	5
Redutor 4	2	5	5
Redutor 4	3	5	5
Redutor 5	2	5	5
Redutor 5	3	5	5

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

O tingimento com redutiva utilizando o redutor 2, base química dióxido de tiouréia foi o que apresentou menor nota na escala de cinza. Isto pode ser justificado pois, este foi o processo redutivo que apresentou maior diferença nos níveis de corante residual durante o processo de tingimento, o que levou a uma menor solidez comparada as outras amostras.

4.6 AVALIAÇÃO DE SOLIDEZ DA COR À LUZ

As amostras analisadas quanto à solidez à luz apresentaram os resultados de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado das análises de solidez à luz do processo redutivo do tingimento de fios de poliéster na cor Preto.

Amostra	Redutor	Concentração de redutor	Nota de solidez à luz
1	Redutor 1	3%	6
3	Redutor 2	3%	6
5	Redutor 3	3%	6
7	Redutor 4	3%	6
9	Redutor 5	3%	6

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Todas as amostras analisadas receberam nota 6 a solidez à luz. Os resultados são considerados satisfatórios visto que, as amostras apresentaram alta resistência quando submetidas à luz. Este resultado pode ser justificado pela característica química do corante utilizado, que apresenta alta solidez a luz.

4.7 LEVANTAMENTO DE DADOS DE CUSTO, PERICULOSIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS DOS REDUTORES EMPREGADOS

Para definir o redutor que apresenta o melhor custo de processo, foi necessário efetuar o levantamento de preço destes produtos que podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 – Preço (em reais) por quilo dos agentes redutores.

Redutor	Preço (Kg)
Redutor 1	R\$ 7,50
Redutor 2	R\$ 25,09
Redutor 3	R\$ 6,44
Redutor 4	R\$ 5,76
Redutor 5	R\$ 2,96
Hidróxido de sódio	R\$ 5,44

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Calculou-se o custo unitário, e o custo por lote do processo redutivo considerando um lote de tingimento de 100 kg. Para estes cálculos a Equação 3 e a Equação 4 foram utilizadas conforme exemplificadas no item 3.2.9. Os valores referentes aos custos total e unitário podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 – Custo do processo redutivo de uma partida de 100 kg de tingimento, total e unitário.

Redutor	Concentração (%)	Preço por quilo (R\$/kg)	Custo para 100 kg (R\$)	Valor total da redutiva para 100 kg (R\$)
1	3	0,225	22,50	33,40
1	2	0,150	15,00	25,90
2	3	0,753	75,27	86,20
2	2	0,502	50,18	61,10
3	3	0,193	19,32	19,30
3	2	0,129	12,88	12,90
4	3	0,173	17,30	17,30
4	2	0,115	11,50	11,50
5	3	0,089	8,88	19,80
5	2	0,059	5,92	16,80

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Analisando o custo total do processo redutivo, considerando um lote de tingimento de 100 kg, aquele que apresentou o melhor custo de processo foi com o redutor 4, com a uma concentração de 2%, e custo total de R\$ 0,115/kg. Já o segundo melhor custo de processo redutivo foi utilizando o redutor 3, com uma concentração de 2% e custo de R\$ 0,129/kg. Os referidos produtos são biodegradáveis, sendo utilizado somente o agente redutor no processo, sem emprego de hidróxido de sódio o que diminui o custo de processo e contribui também, para diminuição dos impactos ambientais.

Com o conhecimento do custo do processo, um levantamento quanto à periculosidade e impactos ambientais foi realizado através das fichas de segurança e boletim técnico de cada redutor. As classificações de cada produto são apresentadas conforme a norma NBR 26, ABNT - NBR 14725-3, segunda edição.

Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Os resultados são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7- Periculosidade e impactos ambientais dos agentes redutores.

Identificação de Perigo	Toxicidade aguda, oral	Toxicidade aguda, dérmico	Carcinogenicidade	Toxicidade reprodutiva	Toxicidade aguda para o ambiente aquático	Toxicidade crônica para o ambiente aquático
Redutor 1	Categoria 4	Categoria 4	Não se aplica	Não classificado	Categoria 2	Não classificado
Redutor 2	Categoria 4	Categoria 5	Categoria 2	Categoria 2	Categoria 2	Categoria 2
Redutor 3	Categoria 4	Categoria 5	Não se aplica	Não classificado	Não classificado	Não classificado
Redutor 4	Categoria 4	Categoria 5	Não se aplica	Não classificado	Não classificado	Não classificado
Redutor 5	Categoria 5	Categoria 5	Não se aplica	Não classificado	Categoria 3	Categoria 2

Fonte: FISPQ (2019).

As fichas de segurança de cada redutor analisado seguiram as especificações da norma. A partir da ficha é possível identificar os perigos que os produtos utilizados oferecem através de uma identificação de fácil entendimento. As fichas seguem um sistema de classificação conforme o perigo. A análise do trabalho levou em conta os perigos de: toxicidade aguda oral, toxicidade aguda dérmica, carcinogenicidade, toxicidade reprodutiva, toxicidade aguda para o ambiente aquático, toxicidade crônica para o ambiente aquático. O foco da análise está na periculosidade no ambiente de trabalho e nos impactos que o uso dos redutores pode causar ao meio ambiente.

A toxicidade aguda oral é classificada em cinco categorias sendo a categoria 1 de maior perigo e a categoria 5 de menor perigo. Conforme as fichas dos redutores 1, 2, 3 e 4, estes são classificados na categoria 4. Assim sendo, são produtos que apresentam pequena nocividade ao operador caso o produto seja ingerido. O redutor 5, conforme a FISPQ é classificado como categoria 5 não sendo exigido alertas para essa categoria. A identificação nesta categoria serve para alertar o operador. Deste modo, o redutor 5 apresenta menor risco de toxicidade aguda oral quando comparado aos demais redutores.

Segundo o Art. 5º da Consulta Pública nº 262, de 11 de outubro de 2016 (Anvisa, Brasil, 2016), a toxicidade aguda dérmica dos produtos químicos deverá ser determinada e identificada com os respectivos nomes das categorias e cores nas faixas do rótulo dos produtos, de acordo com a classificação conforme as seguintes categorias: categoria 1 (produto extremamente tóxico - faixa vermelha), categoria 2 (produto altamente tóxico - faixa vermelha), categoria 3 (produto moderadamente tóxico - faixa amarela), categoria 4 (produto pouco tóxico - faixa azul), categoria 5 (produto improvável de causar dano agudo - faixa azul) e não classificado (produto não classificado - faixa verde).

Os redutores 2,3,4 e 5 conforme a ficha de segurança estão classificados na categoria 5 sendo esta a classificação de menor perigo quando se há contato do produto com a pele. O redutor 1 está classificado na categoria 4 e apresenta nocividade quando em contato com a pele sendo este o redutor de maior risco de manuseio em comparação aos demais redutores.

A carcinogenicidade é classificada em duas categorias sendo a categoria 1 subdividida em categoria 1A e 1B. A categoria 1A e 1B é utilizada para identificação de produtos químicos que podem provocar câncer quando expostos ao ambiente de trabalho. A categoria 2 indica que o produto é suspeito de provocar câncer quando exposto a alguma via de exposição. Dentre os 5 redutores analisados somente o redutor 2 está classificado conforme a categoria 2. Os demais redutores não estão sujeitos a este risco.

A toxicidade reprodutiva é classificada em duas categorias sendo a categoria 1 subdividida em categoria 1A e 1B. A categoria 1A e 1B é utilizada para identificação de produtos químicos que podem prejudicar a fertilidade ou feto quando expostos ao ambiente de trabalho. A categoria 2 indica que o operador deve ter atenção pois o produto apresenta suspeita de riscos a fertilidade ou o feto. Somente o redutor 2 está classificado na categoria 2 sendo este o único redutor que apresenta suspeita quanto à toxicidade reprodutiva. Para os demais redutores esta classificação de perigo não se aplica.

A toxicidade aguda para o ambiente aquático é classificada em três categorias. Os redutores 1 e 2 apresentaram classificação conforme categoria 2 sendo produtos que apresentam toxicidade para os organismos aquáticos. O redutor 5 está classificado na categoria 3 apresentando nocividade quando exposto aos organismos aquáticos. O redutor quatro não apresentou informações sobre este perigo, já para o redutor 3 esta classificação de perigo não se aplica.

A toxicidade crônica para o ambiente aquático é classificada em quatro categorias. Os redutores 2 e 5 estão classificados na categoria 2 sendo assim, apresentam toxicidade para os organismos aquáticos, com efeitos prolongados. Os redutores 1 e 4 não apresentaram informações quanto a esta classificação de perigo nas fichas de segurança. Para o redutor 3 esta classificação de perigo não se aplica. Para exemplificar o estudo a Quadro 8 classifica os redutores por ordem de menor custo de processo redutivo, maior qualidade, menor impacto ambiental e menor grau de periculosidade.

Quadro 8- Classificação quanto ao menor custo do processo redutivo, maior qualidade de processo, menor impacto ambiental e menor grau de periculosidade.

Classificação	Menor custo processo redutivo	Maior qualidade de processo	Menor impacto ambiental	Menor grau de periculosidade
1°	Redutor 4	Redutor 1	Redutor 3	Redutor 3
2°	Redutor 3	Redutor 4	Redutor 1	Redutor 4
3°	Redutor 5	Redutor 3	Redutor 5	Redutor 5
4°	Redutor 1	Redutor 5	Redutor 2	Redutor 1
5°	Redutor 2	Redutor 2	Redutor 4	Redutor 2

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Analisando todos os perigos e as classificações quanto à periculosidade e aos impactos ambientais, o redutor que apresenta menor perigo ao operador e ao meio ambiente é o redutor 3 que é sendo este o mais seguro a ser aplicado no processo industrial. No que diz respeito à questão econômica, este redutor apresentou um custo de R\$ 0,129/kg ficando apenas mais caro que o redutor 4, porém, como a redução de corante do redutor 3 foi maior, esta diferença de custo pode ser justificada ou mesmo reduzida, pois é possível que se possa obter o mesmo nível de qualidade empregando uma quantidade ainda menor de redutor. No que diz respeito às análises de solidez (lavagem, fricção e luz), todos apresentaram valores aceitáveis para o mercado, justificando o emprego deste redutor.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou o emprego de cinco redutores diferentes no processo redutivo de tingimento de fios de poliéster com corante disperso preto. Dentre os cinco redutores foram analisadas a eficiência, custo, qualidade, periculosidade e impactos ambientais do processo redutivo de tingimento.

Para as análises de qualidade foram realizados testes de solidez a lavagem, solidez a fricção e solidez a luz. Os cinco redutores testados apresentaram resultados satisfatórios de solidez para os processos redutivos realizados. Isso pode ser justificado pela característica química do corante utilizado que apresenta alta solidez e pela eficiência de processo e retirada de corante residual na superfície do substrato.

Na análise de custo do processo o redutor que apresentou melhor custo foi o redutor 4 a uma concentração de 2% com um custo total de R\$ 0,115/kg. Já o segundo melhor custo de processo redutivo foi do redutor 3 a uma concentração de 2% com um custo de R\$ 0,129/kg. A diferença de custo destes redutores quando comparado aos outros redutores testados se justifica pela ausência do hidróxido de sódio no processo, pois, estes produtos não necessitam da adição do álcali para a redução do corante. O redutor 3, a base de ácido de sal sódico, apresentou os melhores resultados nas análises de periculosidade e impactos ambientais sendo considerado o redutor de menor potencial de dano ao meio ambiente e ao ambiente de trabalho.

Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que o redutor que apresenta os melhores resultados quanto à eficiência, qualidade, custo, periculosidade e impactos ambientais é o redutor 3, a base de ácido de sal sódico, que obteve excelentes notas de solidez, tem um dos menores custos quando comparado aos outros redutores testados e é o menos nocivo ao meio ambiente e ao ambiente de trabalho. Estudos como este, contribuem para indústria mostrando alternativas de aplicação de processos redutivos para redução de impactos ambientais e custos na empresa.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Realizar os tingimentos em escala industrial comparando com os resultados experimentais de intensidade da cor, solidez, lavagem, fricção, luz.
2. Realizar análise do banho redutivo utilizando outra cor escura crítica como um vermelho/bordô para ver se os produtos atendem a outros tipos de corante.
3. Testar a eficiência e qualidade dos redutores diminuindo o número de lavagens.

REFERÊNCIAS

- ALEEM, A. U. **An investigation of alternatives to reductive clearing in the dyeing of polyester**. Escola de Têxteis e Design, Heriot Watt University, 2013.
- Analíticos. **Química Nova**, v. 19, n. 3, p. 268-277, 1996.
- ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITARIA. **Consulta Pública nº 262**. Disponível em:
<<http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2858730/CONSULTA+P%C3%9ABLICA+N+262+GGTOX.pdf/e01d7f65-5f83-482e-b1e3-685560a029fd>>. Acesso em: 19 ago. 2019.
- ARAÚJO, B. A. T. **Utilização de microemulsão na remoção da cor de efluentes têxteis contendo corantes dispersos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL. Perfil do setor. Disponível em:
<<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 105-B02:2007: Têxteis – Ensaio de solidez da cor Parte B02: Solidez da cor a luz artificial: Ensaio da lâmpada de desbotamento de arco de xenônio**. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 105-C06:2010: Têxteis – Ensaio de solidez da cor Parte C06: Solidez da cor a lavagem doméstica**. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 105-E04:2014: Têxteis – Ensaio de solidez da cor Parte E04: Solidez da cor ao suor**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 105-X12:2019: Têxteis – Ensaio de solidez da cor Parte X12: Solidez da cor à fricção**. Rio de Janeiro, 2019.
- BABU, K. M. IN SINCLAIR, R. **Textiles and Fashion: materials, design and technology**. Woodhead Publishing, 2015.
- BAI, T.; KOBAYASHI, K.; TAMURA, K.; JUN, Y.; ZHENG, L.; **Supercritical CO₂ dyeing for nylon, acrylic, polyester, and casein buttons and their optimum dyeing conditions by design of experiments**. Journal of CO₂ Utilization, v. 33, p. 253-261, 2019.
- BOHM, E.; HILLENBRAND, T.; LANDWEHR, M.; MARSCHEIDER-WEIDEMANN, F;

CORLER, M.S. **Risk assessment of chemicals: Investigation and statistical evaluation of values for wastewater and production in the pulp and paper industry, the textile finishing and leather production industries.**

Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, v. 12, p. 21-26, 2000.

BURKINSHAW, S. M.; KUMAR, N. **The reduction clearing of dyed polyester. Part 1: Colour strength.** Dyes and Pigments, v. 76, p. 799-809, 2008.

COOK, James Gordon. **Handbook of Textile Fibres: Man-Made Fibres.** 1. ed. rev. Cambridge: Elsevier Science, 1984. 760 p. v. 1.

CEGARRA, J. **Introducción al blanqueo de materias textile.** Universitat Politècnica de Catalunya, 1966.

ABRAHART, E. N. **Dyes and their intermediates.** Edward Arnold Ltd, London, 1977.

CHEN, J. IN SINCLAIR, R. **Textiles and Fashion: materials, design and technology.** Woodhead Publishing, 2015.

CIECHANSKA, D.; WELOLOWSKA, E.; WAWRO, D. IN EICHHORN, S.; HEARLE, J. W. S.; JAFFE, M.; KIKUTANI, T. **Handbook of textile fibre structure: natural, regenerated, inorganic, and specialist fibres.** v. 2. Woodhead Publishing, 2009.

CLARK, M. **Handbook of textile and industrial dyeing: principles, processes and types of dyes.** v. 1. Woodhead Publishing, 2011.

CLIMATE CHANGE AND THE TEXTILE INDUSTRY. Disponível em: <<https://oecotextiles.wordpress.com/2014/10/15/climate-change-and-the-textile-industry/>>. Acesso em: 06 out. 2019.

DEOPURA, B. L.; PADAKI, N. V. EM SINCLAIR, R. **Textiles and Fashion: materials, design and technology.** Woodhead Publishing, 2015.

FALCO, F. D.; GULLO, M. P.; GENTILE, G.; DI PACE, E.; COCCA, M.; GELABERT, L.; BROUTA-AGNÉSA, M.; ROVIRA, A.; ESCUDERO, R.; VILLALBA, R.; MOSSOTTI, R.; MONTARSOLO, A.; GAVIGNANO, S.; TONIN, C.; AVELLA M. **Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics.** Environmental Pollution, v. 236, p. 916-925, 2018.

FLETCHER, K. **Sustainable Fashion and Textiles.** Earthscan, Londres, 2008.

GACÉN, J. **Oligômeros de poliéster PET, parte 1: descrição, problemas e remédios.** Química Têxtil, n. 86, p. 34 – 47, 2007.

GORINI, A. P. F.; SIQUEIRA, S. H. G.; **Complexo Têxtil Brasileiro, BNDES Setorial**. Disponível em:

<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/bsesptex.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2019.

GUILLEN, J. G. **Fibras de poliéster**. Universidade Politécnica da Catalunha, Terrassa, 1991.

GULRAJANI, M. L. IN CLARK, M. **Handbook of textile and industrial dyeing: principles, processes and types of dyes**. v. 1. Woodhead Publishing, 2011.

HEALER, J. W. S.; EICHHORN, S.; JAFFE, M.; KIKUTANI, T. **Handbook of textile fibre structure: fundamentals and manufactured polymer fibres**. v. 1. Woodhead Publishing in Textiles, 2009.

KARTHUK, T. / RATHINAMOORTHU, R. IN CHOUDHURY, A. K. R. IN MUTHU, S. S. **Sustainable fibres and textiles**. Woodhead Publishing, 2017.

LANDI, S. **The textile conservator's manual**. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 1998.

LINS, H. N.; **Arranjo produtivo têxtil-vestuarista da Região do Vale do Itajaí** in CÁRIO, S.A. F. **Economia de Santa Catarina: inserção industrial e dinâmica competitiva**. Blumenau: Nova Letra, 2008.

LU, X.; LIU, L.; LIU, R.; CHEN, J. **Textile wastewater reuse as an alternative water source for dyeing and finishing processes: a case study**. *Desalination*, v. 258, p. 229-232, 2010.

MATHER, R., R.; WARDMAN, R. **The chemistry of textile fibres**. RSC Publishing, 2011.

MATHER, R., R.; WARDMAN, R. **The chemistry of textile fibres**. RSC Publishing, 2015.

MORLET, A. OPSOMER, R.; HERMANN, S.; BALOND, L.; GILLET, C.; FUCHS, L. **A new textiles economy: redesigning fashion's future**. Ellen MacArthur Foundation, 2017.

NORUP, N.; PIHL, K.; DAMGAARD, A.; SCHEUTZ, C. **Development and testing of a sorting and quality assessment method for textile waste**. *Waste management*, v. 79, p. 8-21, 2018.

PERKINS, W.S., **Los Principios Básicos dei Tenido Textil**, *Textiles Panamericanos*, v.55, n.4, p .190-193, 1995.

PIMENTEL, Maria F.; NETO, Benício B. de. **Calibração**: Uma revisão para químicos

PLASTIC INSIGHT. **Polyester properties, production, price, market and uses.**

Disponível em: <<https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polyester/>>. Acesso em: 04 nov. 2019.

LEÃO, A. C. **Gerenciamento De Cores Para Imagens Digitais.** Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

REVELLO, J. H. P. **Tingimento de fios têxteis em bobinas**: uma abordagem numérica e experimental. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

ALONSO, H. **Estudo do efeito do tratamento por laser de CO₂ nas propriedades superficiais de fibras sintéticas.** 109 f. Dissertação (Mestrado em Química Têxtil) - Universidade do Minho, Portugal, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/9037>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

REZAJE, A. B.; MONTAZER, M. **A cleaner ando ne-step approach for robust coloration of polyester fibers via hydrophic magnetically recoverable photocatalyst fatty acids/nano iron oxide coating.** Journal of Cleaner Production, v. 244, 2019.

ROUETTE, H. H. **Lexikon für Textilveredlung.** Lauman Verlag, 1995.

SALEM, V. **Tingimento têxtil**: fibras, conceitos e tecnologias. Edgard Blucher, 2010.

SALVI, P. S. **A influência dos detergentes em pó comercial na solidez da cor à lavagem doméstica dos substratos têxteis.** Dissertação de Mestrado. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Universidade de São Paulo, 2018.

SANTOS, R. F.; LANGE, C. R. L.; MARANGONI, C. **Estudo da geração de efluentes nas indústrias têxteis da região de Blumenau-SC.** 3º CONTEXMOD, Congresso Científico Têxtil e Moda. Fortaleza, 2015.

SINCLAIR, R. **Textiles and Fashion**: materials, design and technology. Woodhead Publishing, 2015.

SIRIRERKRATANA, K.; KEMACHEEVAKUL, P.; CHUANGCHOTE, S. **Color removal from wastewater by photocatalytic process using titanium dioxide-coated glass, ceramic tile, and stainless-steel sheets.** Journal of Cleaner Production, v 215, p. 123-130, 2019.

SOCIETY OF DYERS AND COLOURISTS. **Report of the committee on the dyeing properties of disperse dyes.** JSDC, p. 93, 1977.

TO, M. H.; UISAN, K.; OK, Y. S.; PLEISSNER, D.; LIN, C. S. K. **Recent trends in green and sustainable chemistry**: rethinking textile waste in a circular economy. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 20, p. 1-10, 2019.

VAJNHANDL, S.; VALH, J. **The status of water reuse in European textile sector**. *Journal of Environmental Management*, v. 141, p. 29-35, 2014.

VASCONCELOS, A. J. C. **Obtenção de tecidos de poliéster de baixo peso por tratamento enzimático**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Têxtil. Universidade do Minho, 2005.

PITA, P. A. **Fibras têxteis. v .2** Rio de Janeiro: SENAI CETIQT, 1996.

VIJAYARAAGHAVAN, N.N., KARTHIK, T. **Multi-component fiber technology for medical and other filtration applications**. *Synthetic Fibres*, p. 5–8, 2004.

VISWANATHAN, A. **Wallace Carothers**: more than the inventor of nylon and neoprene. *World patent information*, v. 32, p. 300-305, 2010.

YU, C. IN SINCLAIR, R. **Textiles and Fashion**: materials, design and technology. Woodhead Publishing, 2015.

ZHANG, Y.; KANG, H.; HOU, H, SHAO, S.; SUN, X.; QIN, C., SHANG, S. **Improved design for textile production process based on life cycle assessment**. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 20, p. 13555-1365, 2018.